

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

"На правах рукопису"
УДК 004.9

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) **О.В. Коваль**
(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності – 121 Інженерія програмного забезпечення

за спеціалізацією – Інженерія програмного забезпечення розподілених систем

на тему _____ Інтелектуальне управління енергетичною інфраструктурою microGrid з застосуванням агентного підходу _____

Виконав: студент 6 курсу, групи ТІ-81мп

_____ **Березюк Вадим Дмитрович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Ковальчук А.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Теплоенергетичний
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування енергетичних процесів і систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення
(код і назва)

спеціалізація Інженерія програмного забезпечення розподілених систем

ЗАТВЕРДЖУЮ Завідувач кафедри
О.В. Коваль
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Березюку Вадиму Дмитровичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Інтелектуальне управління енергетичною інфраструктурою microGrid з застосуванням агентного підходу
науковий керівник дисертації Ковальчук Артем Михайлович доцент, к.т.н. ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. №3813-с

2. Строк подання студентом дисертації 9 грудня 2019р.

3. Об'єкт дослідження Інформаційні системи розробки, моделювання та управління технологічними процесами мікроенергетичних систем

4. Предмет дослідження Програмні засоби моделювання структури та управління функціональним контентом мікроенергетичних систем

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз функціональної структури сучасних інформаційних систем моделювання та управління енергетичною інфраструктурою microGrid, аналіз методів та засобів формування сценаріїв функціонування елементів інфраструктури microGrid, дослідження можливості використання адаптивної моделі управління режимами функціонування елементів microGrid, розробка програмно-апаратного комплексу розподіленої системи управління енергетичною інфраструктурою microGrid
6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу Концептуальна модель розробленої мультиагентної системи, структура повідомлень мови комунікації агентів згідно зі стандартом FIPA, діаграма послідовностей комунікації та взаємодії агентів, діаграма взаємозв'язку між мультиагентною системою та об'єктами енергетичної інфраструктури microGrid
7. Орієнтовний перелік публікацій Березюк В.Д. "Розробка мультиагентної системи управління енергетичною інфраструктурою microGrid"
8. Дата видачі завдання «19» березня 2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	19.03.2019	
2	Збір інформації	20.03.2019–26.03.2019	
3	Аналіз вимог завдання, розробка методів і засобів розв'язання поставленої задачі	27.03.2019–25.06.2019	
4	Розробка та тестування програмного продукту	26.06.2019–21.10.2019	
5	Підготовка матеріалів магістерської роботи	22.10.2019–19.11.2019	
6	Захист програмного продукту	26.10.2019	
7	Передзахист	20.11.2019	
8	Захист	16.12.2019	

Студент

(підпис)

В.Д. Березюк

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

А.М. Ковальчук

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Сьогодні енергетичні мережі не в змозі відповідати на виклики сучасності. В умовах підвищення вимог до якості енергії, стійкості та надійності енергозабезпечення, широкого впровадження відновлюваних джерел енергії, появи активних споживачів з власною генерацією сучасні інформаційні системи підтримки технологічного процесу енергозабезпечення, починаючи від генерування до передачі, розподілу, перетворення, накопичення та споживання не здатні забезпечити адаптивне управління.

На сьогодні актуальною задачею є розробка інформаційних систем підтримки прийняття рішень на всіх етапах передачі енергії.

Метою дисертаційної роботи є створення системи моделювання структури і функціонального контенту інженерної інфраструктури microGrid.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- проаналізувати функціональну структуру сучасних інформаційних систем моделювання та управління енергетичною інфраструктурою microGrid;
- проаналізувати методи та засоби формування сценаріїв функціонування елементів інфраструктури microGrid;
- дослідити можливість використання адаптивної моделі управління режимами функціонування елементів microGrid;
- розробити програмно-апаратний комплекс розподіленої системи управління енергетичною інфраструктурою microGrid.

Об'єкт дослідження. Інформаційні системи розробки, моделювання та управління технологічними процесами мікроенергетичних систем.

Предмет дослідження. Програмні засоби моделювання структури та управління функціональним контентом мікроенергетичних систем.

Методи дослідження. Методи математичного аналізу та моделювання, методи математичної статистики, методи структурно-функціонального аналізу для дослідження складових існуючих програмних інформаційно-аналітичних

платформ, методи об'єктно орієнтованого аналізу для опису об'єктів предметної області, методи ООП для побудови комп'ютерної моделі сценаріїв.

Інноваційна новизна одержаних результатів полягає у вирішенні актуальної проблеми інформаційного забезпечення концепції Smart Grid:

- розроблено нову концептуальну модель апаратно-програмної МАС управління інфраструктурою мікромережі;

- удосконалено логічні моделі поведінки агентів інфраструктури;

- розроблено модель взаємодії реактивних агентів нижнього рівня з інтелектуальними агентами верхнього рівня управління;

- реалізовано нову гібридну архітектуру організації МАС управління microGrid, що реалізує взаємодію реактивних агентів нижнього рівня;

- реалізовано мультиплатформений апаратно-програмний комплекс комунікації агентів розподілених пристроїв BDI агентів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці програмної мультиагентної системи управління енергетичною інфраструктурою мікромереж.

Апробація результатів дисертації Матеріали роботи були представлені на 37-й міжнародній інтернет-конференції «Наукові підсумки 2019 року», 09 грудня 2019р, м. Вінниця.

Ключові слова: мікромережі, агентний підхід, мультиагентні системи, агент, FIPA, ACL, JADE, Java.

ABSTRACT

Theme actuality. Now energy networks are unable to meet the challenges of today. Modern information systems are not capable of providing adaptive control, supporting the technological process of energy supply, from generation to transmission, distribution, transformation, storage and consumption in conditions of increasing requirements for energy quality, sustainability and reliability of energy supply, widespread introduction of renewable energy sources, emergence of active consumers with their own generating.

Today, the urgent task is to develop information systems to support decision-making at all stages of energy transfer.

The goal of the dissertation is to create a system for modeling the structure and functional content of microGrid engineering infrastructure.

To achieve this goal it is necessary to solve the following **problems**:

- to analyze the functional structure of modern information systems for modeling and control of microGrid energy infrastructure;
- to analyze methods and tools for developing scenarios for the functioning of microGrid infrastructure elements;
- to explore the possibility of using an adaptive model for control the modes of microGrid elements operation;
- to develop the software and hardware complex of the distributed microGrid energy infrastructure management system.

Object of study. Information systems for design, modeling and control of micro energy systems technological processes.

Subject of study. Software tools for modeling the structure and control of microenergy systems functional content.

Research methods. Methods of mathematical analysis and modeling, mathematical statistics methods, methods of structural and functional analysis for the study of components of existing software information-analytical platforms, object-

oriented analysis methods for the description of objects of the subject area, OOP methods for design a computer model of scenarios.

The innovativeness of the results obtained is to solve the current problem of information support for the concept of Smart Grid:

- a new conceptual model of the MAS hardware and software control of the microGrid infrastructure has been developed;
- infrastructure agents' logical behaviors have been improved;
- interaction model of reactive agents in low-level with top-level intelligent agents has been developed;
- implemented a new hybrid architecture of the components of MAS control microGrid, which implements the interaction of reactive agents in lower-level;
- implemented a multi-platform hardware and software complex for communication of distributed device's BDI agents.

The practical significance of the obtained results is in the development of a multi-agent software system for control the energy infrastructure of the microGrids.

Publications. The dissertation materials were presented at the 37th International Internet Conference "Scientific Outcomes of 2019", December 09, 2019, Vinnitsa.

Keywords: microGrid, agent approach, multiagent systems, agent, FIPA, ACL, JADE, Java.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10
1. ПЕРЕДУМОВИ СТАНОВЛЕННЯ НОВОЇ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ.....	11
1.1 Стимули розвитку енергетичної галузі.....	11
1.2 Огляд факторів змін в енергетиці	12
1.3 Міжнародний досвід становлення концепції Smart Grid	13
Висновки до розділу.....	18
2. АГЕНТНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ.....	19
2.1 Поняття мікромереж	19
2.2 Поняття мультиагентної системи.....	20
2.3 Мультиагентний системний підхід до вирішення проблеми управління microGrid	21
2.3.1 Підходи до розробки інтелектуальних агентів МАС.....	23
2.3.2 Стандарти розробки МАС	24
2.3.3 Методи організації міжагентного спілкування	24
2.3.4 Роль онтологій в МАС	25
2.3.5 Платформи для розробки МАС.....	26
2.4 Вибір оптимальної платформи для розробки програмного проекту МАС microGrid	28
Висновки до розділу.....	31
3. ЗАСОБИ РОЗРОБКИ.....	32
3.1 Моделі комунікацій між агентами	32

3.2	Мультиагентна платформа JADE.....	34
3.3	Платформа JADE в мобільному середовищі та умовах обмежених ресурсів	37
	Висновки до розділу.....	40
4.	ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ..	41
4.1	Архітектура управління мережею	42
4.2	Перелік агентів в розробленій МАС	45
4.3	Програмна реалізація продукту.....	47
4.4	Програмна реалізація агентів	48
4.5	Порядок роботи користувача з системою	49
4.6	Опис моделі поведінки агента координаційного рівня	53
4.6.1	Сценарій діагностики стану генеруючого обладнання.....	58
4.6.2	Сценарій обробки аварійних ситуацій.....	59
	Висновки до розділу.....	60
5.	СТВОРЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	61
5.1	Технологічний аудит ідеї проекту	63
5.2	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	64
5.3	Розроблення ринкової стратегії проекту	71
5.4	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	73
	Висновки до розділу.....	76
	ВИСНОВКИ	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
	ДОДАТОК	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AMS	– Agent Management System;
API	– Application Programming Interface;
BDI	– Belief Desire i Intention;
DF	– Directory Facilitator;
IDAPS	– Intelligent distributed autonomous power systems;
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers;
FIPA	– Foundation for Intelligent Physical Agents;
GPRS	– General Packet Radio Service;
JADE	– Java Agent Development Framework;
JDK	– Java Development Kit;
J2EE	– Java 2 Enterprise Edition;
J2ME	– Java 2 Platform, Micro Edition;
J2SE	– Java 2 Standard Edition;
KQML	– Knowledge Query and Manipulation Language;
LEAP	– Lightweight and Extensible Agent Platform;
MIDP	– Mobile Information Device Profile;
MTS	– Message Transport System;
P2P	– Peer-to-Peer;
RDF	– Resource Description Framework;
SIM	– Subscriber Identification Module;
XML	– eXtensible Markup Language;
ГІС	– Геоінформаційна система;
МАС	– Мультиагентна система;
ПК	– Персональний комп'ютер.

ВСТУП

У ХХІ столітті в структурі світової енергетики відбуваються якісні зміни. Питання енергетичного характеру набувають не лише важливого актуального значення, вони стають фактором формування нової геополітичної та геоекономічної структури світу. Сьогодні політика країн у галузі підвищення енергоефективності та стимулювання процесів енергозбереження проводиться в багатьох країнах світу [1].

Збереження ресурсів може досягатися різними шляхами. Наприклад переходом на відновлювані джерела енергії. Окрім пасивних заходів енергозбереження, актуальним є розумне управління енергетичною інфраструктурою в цілому.

Тому метою цього дослідження є створення мультиагентної системи управління, елементами якої можуть бути агенти генеруючих, акумулюючих, розподільчих станцій, станцій технічного обслуговування, комунікації, зв'язку, діагностики, аналітики, керування і т.д. Ця система має бути максимально автономною та мінімізувати людський фактор втручання. Агенти можуть спілкуватися один з одним, впливати один на одного та надавати дані за запитом диспетчеру.

У цій роботі мультиагентна система розроблялася з використанням мови програмування Java SE та бібліотеки JADE, з метою подальшої реалізації розроблених агентів на фізичних пристроях, на яких можна запустити JVM.

1. ПЕРЕДУМОВИ СТАНОВЛЕННЯ НОВОЇ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

Треба звернути увагу на те, що постійно зростаючі вимоги до якості енергопостачання зі сторони споживача призводять до постійного підвищення ціни тарифів на енергопостачання.

Нещодавно питання якості енергопостачання було проблемою тільки для окремих категорій великих промислових споживачів. Сьогодні проблема якісного енергопостачання стосується вже всіх споживачів. Постійна занепокоєність населення і комунальних підприємств, обумовлене аварійними відключеннями, наочно демонструють недостатню якість енергопостачання. Якщо в найближчі 10-20 років не вирішувати питання якості енергопостачання, це стане найбільшою проблемою в галузі [2]. Енергетична інфраструктура потребує не тільки наявності надійних джерел постачання палива, але і зменшення втрат на магістральних лініях електропередачі. Крім того, ефект старіння мережевої інфраструктури електропередачі і розподілених електростанцій становить загрозу безпеці та надійності стратегічній галузі.

1.1 Стимули розвитку енергетичної галузі

У XX столітті зростання об'єму енергоспоживання було обумовлене бурхливим зростанням промисловості і економіки. Попит споживачів був легкопрогнозованим, а отже, забезпечувалося оптимальне планування розвитку енергетичних об'єктів. За останні 10-20 років ситуація змінилася: з'явилася безліч нових і поліпшених технологій, пристосувань, приладів та інструментів, які споживають виключно електричну енергію, широке використання яких споживачами різко підвищує обсяги споживаної електричної енергії і створює перевантаження на тих ділянках мережі, на яких ще 15 років тому це було неможливо.

У найближчі роки одним з істотних джерел зростання споживання електричної енергії буде перехід на електромобілі, про який заявили уряди багатьох країн, схваливши відповідні проекти розвитку електротранспорту у великих містах, які страждають від забруднення повітря.

У своєму нинішньому стані більшість магістральних і розподільних мереж не в змозі забезпечити ефективне підключення великої кількості малих електростанцій (розподілена генерація), що працюють в тому числі на відновлюваних джерелах енергії. Енергія, що виробляється цими електростанціями, як правило, не забезпечена належним чином диспетчерським управлінням, а потужність що віддається в мережу електроенергії залежить від природних умов або від бажання власника електростанції.

Незважаючи на те що розподілені джерела можуть виробити істотну частку електроенергії в енергосистемі, при відсутності ефективного управління електричними мережами розподілені джерела не зможуть замінити існуючі класичні електростанції.

У той же час, повністю інтегрована розподілена генерація і активізована система управління споживанням кінцевими споживачами дозволять взяти на себе частину системних послуг, знижуючи роль централізованої генерації. Ця обставина допоможе також більш ефективно забезпечити передачу і розподіл електроенергії. Для цього необхідна зміна парадигми управління енергосистемою – від концепції централізованого управління – до концепції розподіленого управління.

1.2 Огляд факторів змін в енергетиці

Нові умови розвитку галузі формують потребу в розробці і впровадженні нових технологій які забезпечать:

- рух потоків електроенергії та інформації від енергетичних компаній до споживачів і навпаки;

- постійний контроль за всіма елементами мережі – від роботи електростанцій до споживання електроенергії індивідуальними пристроями;

— інтеграцію розподілених джерел електроенергії (в тому числі відновлюваних) і засобів зберігання електроенергії.

Новим підходом є розподілене виробництво електроенергії, що передбачає максимальне наближення електрогенераторів до споживачів електрики, аж до розташування їх в одній будівлі. При цьому знижуються втрати електроенергії при транспортуванні, число і протяжність ліній електропередачі, які необхідні для електропостачання споживачів.

Однак відновлювані джерела, що використовують енергію сонця або вітру, мають вкрай нерівномірний графік генерації електроенергії. Стабільна робота мережі в цьому випадку забезпечується за рахунок інтегрування функції моніторингу, контролю та управління. Автоматизація підстанцій дозволяє контролювати графік видачі електроенергії і планувати підключення в разі потреби резервних джерел енергії.

Це рішення вимагає розробки нової концепції інноваційного розвитку електроенергетики, яка, з одного боку, відповідала б сучасним поглядам, цілям і цінностям розвитку суспільства, максимально враховувала б основні тенденції та напрямки науково-технічного прогресу. Такою концепцією і стала Smart Grid.

1.3 Міжнародний досвід становлення концепції Smart Grid

У США основоположним документом «Grids 2030 – A National Vision for Electricity's Second 100 years» передбачається реалізація програм модернізації та інноваційного розвитку національної електроенергетики на базі комплексного і системного впровадження технологій на основі концепції Smart Grid. Вони мають статус національних і здійснюються за прямої підтримки політичного керівництва країни. [3].

У країнах Європейського союзу також активно ведеться робота з розвитку і реалізації концепції Smart Grid. Вже успішно запущений ряд програм і проектів з метою розуміння складнощів, пов'язаних з впровадженням Smart Grid, і відпрацювання пропонуваніх рішень.

При розробці та розвитку концепції Smart Grid сформульовані наступні вихідні положення:

— концепція Smart Grid передбачає системне перетворення електроенергетики (енергосистеми) і зачіпає всі її основні елементи: генерацію, передачу і розподіл (включаючи і комунальну сферу), збут і диспетчеризацію;

— енергетична система в майбутньому розглядається як подібна мережі Інтернет інфраструктура, призначена для підтримки енергетичних, інформаційних, економічних і фінансових взаємовідносин між усіма суб'єктами енергетичного ринку та іншими зацікавленими сторонами;

— всі елементи електричної мережі розглядається як основний об'єкт формування нового технологічного базису, що дає можливість істотного поліпшення досягнутих і створення нових функціональних властивостей енергосистеми.

Зростання ролі управління розглядається, як альтернатива забезпечення вимог і функцій в електроенергетиці за рахунок нарощування генеруючих потужностей і мереж. Найбільш прийнятним є розвиток шляхом використання і впровадження в електроенергетиці рішень інших галузей, в першу чергу інформаційно-комунікаційних і комп'ютерних технологій.

Інтелектуальні системи обробки інформації потім стануть аналізувати в режимі реального часу умови функціонування, а також, в разі необхідності, ініціювати необхідні дії. Володіння великою інформацією про те, що відбувається в режимі «майже реального» часу знизить необхідність оцінювати рівень навантаження в минулому. Також система стане отримувати точну, відповідну обставинам інформацію про навантаження, що в результаті сприятиме формуванню більш точних прогнозів навантаження, що і оптимізує процес прийняття рішень щодо того, коли і де будуть потрібні нові додаткові потужності.

Енергетична система на базі концепції Smart Grid дозволить споживачам, які мають власні генеруючі установки, в години пікових навантажень виступати на ринку у якості продавця [4].

Інформація виступає як головний засіб забезпечення ефективного управління.

По суті, Smart Grid як технологічна система, представляє собою інтегровані комунікації, які забезпечуватимуть взаємозв'язок і взаємодію компонентів енергосистеми.

При цьому управлінські та інформаційні зв'язки перетворюються в системоутворюючий фактор, що забезпечує перехід до нової якості: від енергетичної до енергоінформаційної системи. Енергоінформаційна інфраструктура є базою для комплексного управління всією енергетичною системою на базі концепції Smart Grid, включаючи технологічну інтеграцію електричних та інформаційних мереж.

Нові підходи будуть реалізовуватися на основі цифрових комунікаційних можливостей Інтернету, з використанням стандартних інтернет-протоколів, а також надійних і поширених способів підключення:

- загальнодоступного бездротового зв'язку;
- радіозв'язку, з використанням спеціальних частот;
- широкосмугових електричних ліній;
- оптоволоконних мереж;
- електричних мереж із встановленими на обох кінцях ліній модемами, які дозволять обмінюватися інформацією між споживачами і генеруючими компаніями.

Енергосистема на базі концепції Smart Grid буде мати здатність проактивно діяти по відношенню до мінливих системних умов. Вона стане відслідковувати проблеми, що насуваються в системі ще до того, як вони вплинуть на надійність та якість електропостачання. Для цього передбачається застосовувати автоматичні перемикачі, «інтелектуальні» системи контролю, обладнання для альтернативного електропостачання, засоби візуалізації і т. ін.

Smart Grid повинна дозволити значно поліпшити якість електроенергії та надійності її поставок. Інтелектуальні технології, що забезпечують двосторонні комунікації і інтегровані в мережу, дозволять енергетичним компаніям більш

оперативно визначати, локалізувати, ізолювати і відновлювати електропостачання на відстані [5].

Інтеграція розподілених енергоресурсів збільшує стійкість всієї системи, оскільки забезпечує велику кількість джерел електроенергії і дозволяє створювати ізольовані енергомережі [6].

Енергосистема на базі концепції Smart Grid буде використовувати динамічні дані, одержувані від обладнання і датчиків, щоб оптимізувати пропускну здатність мереж і знизити ймовірність аварії. Інформація про стан мережі дозволить запобігти більшості аварій і зменшити час ремонту, коли аварія все ж трапилася. Інтеграція їх з системами безпеки забезпечить запобігання взломів і порушень цілісності. Нові системи програмного забезпечення повинні збирати, зберігати, аналізувати і обробляти велику кількість даних, що проходять через сучасні інструменти вимірювання та зчитування. Майбутні цифрові реле, які використовують інтелектуальні агенти, істотно підвищать надійність енергетичної системи. У такій інтегрованій розподіленій системі захисту реле будуть здатні автономно взаємодіяти одне з одним. Така гнучкість і автономність підвищує надійність, оскільки навіть при збоях на будь якій ділянці мережі інші реле на базі агентів продовжують захищати енергетичну систему.

Під терміном «інтелектуальний агент» розуміються сутності, що спостерігають за навколишнім середовищем і діють в ньому. При цьому їх дії завжди спрямовані на досягнення загальної мети. Такий агент може бути як роботом, так і інтегрованою програмною системою. Про інтелектуальність агента можна говорити, якщо він взаємодіє з навколишнім середовищем приблизно так само, як діяла би людина.

Розподілена генерація передбачає різноманіття типів електростанцій і систем акумуляції електроенергії, для створення власних генеруючих і акумулюючих потужностей, в першу чергу екологічно чистих джерел енергії, таких як вітрові, біо- і сонячні електростанції.

Енергетична система на базі концепції Smart Grid повинна спростити взаємозв'язок розподіленої генерації і систем акумуляції електроенергії за допомогою створення стандартизованого взаємозв'язку «мережа – генерація», близького до концепції Plug and Play («підключи і працюй»), яка застосовується в сучасних комп'ютерних системах. Поширення розподіленої генерації створить нові виклики для мережі завдяки своїй більш мобільній природі і менш стабільним характеристикам, які здатні породжувати перебої і різкі зниження напруги в мережі. Відповідь на ці виклики може бути дана за допомогою більш інтенсивного залучення інформації, двосторонньої комунікації, «інтелектуального» контролю і правильної конфігурації розподіленої генерації, зберігання та управління попитом на електроенергію.

Розподілена генерація має багато переваг перед централізованою: вона технологічно більш гнучка, дозволяє вирішувати проблеми дефіциту електроенергії в масштабах регіонів.

Оптимальна інтеграція електростанцій і систем акумулювання електроенергії різних типів і потужностей шляхом підключення їх до енергомережі за стандартизованими процедурами технічного приєднання і перехід до створення «мікромереж» на стороні кінцевих користувачів.

Мікромережа, може генерувати, розподіляти і регулювати потік електрики до споживачів. Мікромережі мають більш високий рівень гнучкості і дозволяють підключати більш широкий діапазон генеруючих джерел енергії, в тому числі ті, інтеграція яких є проблемою для централізованої енергетичної мережі, а саме вітрові та сонячні.

Будучи автономними або підключеними до національної енергетичної мережі, мікромережі можуть розміщуватися в безпосередній близькості від споживачів (невеликих міст, сіл, заводів) і виробляти електроенергію «на місці», істотно знижуючи втрати при передачі через загальну мережу.

Висновки до розділу

Початковою точкою розробки концепції Smart Grid в більшості індустріально розвинених країнах стало формування чіткого стратегічного бачення цілей і завдань розвитку електроенергетики, що відповідає майбутнім вимогам суспільства і всіх зацікавлених сторін: держави, науки, економіки, бізнесу, споживачів і інших інститутів. Концепція Smart Grid передбачає перехід до активного споживача. По суті, споживач стає, з одного боку, активним суб'єктом вироблення і прийняття рішень щодо розвитку і функціонування енергосистеми, а з іншого – об'єктом управління, що забезпечує поряд з іншими реалізацію ключових вимог.

Наявність опрацьованих єдиних стандартів дозволяють закордонним компаніям організувати поступове і точкове впровадження технологій Smart Grid: починаючи, як правило, зі smart-лічильників, переходячи згодом до smart-домівок, кварталів і міст.

Найбільш повно загальну функціонально-технологічну ідеологію цієї концепції відображає сформульоване у IEEE4 визначення Smart Grid, як концепції повністю інтегрованої, саморегулюючої і самовідновлювальної електроенергетичної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі і всі види споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу.

2. АГЕНТНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ

Передбачається, що Smart Grid перетвориться в невеликі і взаємозалежні локальні мережі. Дерегуляція ринків електроенергії в багатьох країнах дозволяє легко підключатись виробникам енергії будь-якого масштабу. Це заохочує розбудову розподіленої генерації відновлюваної енергетики.

Відносна простота мікромереж робить їх оптимальним вибором для розробки нових концепцій управління. Наприклад, інтелектуальні розподілені автономні енергомережі (IDAPS) – нова концепція на базі microGrid [7], де попит визначається потребами, а не навпаки. Вона описує елементарну структуру мережі, для вирішення більшості типових проблем управління мережами.[8, 9].

Країни світу змінюють структуру постачання електроенергії та вже створили різні типи ринків електроенергії. Smart Grid стимулює більш активну участь споживачів. Забезпечення ринкового середовища серед розподілених джерел енергії та споживачами є однією з основних особливостей Smart Grid. Мультиагентна система надає платформу для моделювання автономних, децентралізованих об'єктів прийняття рішень. [10, 11].

2.1 Поняття мікромереж

Терміном microGrid (або мікромережа) [12, 13] називають низьковольтні розподілені електричні мережі, що складаються з різних розподілених генераторів, систем накопичення і управління навантаженням, які можуть працювати як у вигляді автономної системи, так і бути підключеними разом до центральної мережі.

З точки зору енергомережі, microGrid мережа може розглядатися, як сукупність керованих об'єктів, які генерують енергію, або створюють попит, або надають допоміжні послуги додатковим мережам. З точки зору споживачів,

microGrid мережі подібні до традиційних розподільних мереж, які забезпечують споживачів електроенергією. Вони підвищують локальну надійність, зменшують викиди парникових газів в атмосферу, покращують якість електроенергії і потенційно знижують вартість енергопостачання.

2.2 Поняття мультиагентної системи

Мультиагентна система – це мережа розподілених, слабо пов'язаних, інтелектуальних апаратних і програмних сутностей, які взаємодіють один з одним. Взаємодія може бути спроектована таким чином, щоб мультиагентна система досягала глобальної мети. Атомарним складовим елементом мультиагентної системи є агент.

Агент – це частина програмного або апаратного забезпечення, яка знаходиться в середовищі і здатна автономно реагувати на зміни в цьому середовищі [14].

Інтелектуальність агента характеризується гнучкістю його автономії. Гнучка автономність інтелектуального агента визначається такими характеристиками, як реактивність, проактивність та соціальні здібності. Реактивність – це здатність агента розпізнавати будь-які зміни в своєму середовищі і робити дії на основі своїх знань. Проактивність – це здатність агента проявляти свою цілеспрямовану поведінку. Соціальна здатність – це здатність агента взаємодіяти з іншими інтелектуальними агентами.

Хоча кожен агент є інтелектуальним, окремого агента недостатньо для досягнення глобальної мети в масштабах складної системи. Мультиагентний системний підхід можна використовувати для керування повномасштабною енергосистемою, як групи географічно розподілених, автономних і адаптивних інтелектуальних агентів. Кожен агент має тільки локальне уявлення про систему живлення, але агенти в цілому можуть виконувати управління всією системою за допомогою фонові взаємодії між собою.

2.3 Мультиагентний системний підхід до вирішення проблеми управління microGrid

Потенціал мультиагентного системного підходу для управління системами розподіленої енергетики [12, 15] пояснюється наступними основними характеристиками інтелектуальних агентів [14, 32]:

- наявність певного рівня автономії;
- здатність взаємодіяти з навколишнім середовищем;
- здатність комунікувати один з одним;
- здатність взаємодіяти між різними підсистемами управління;
- функціонування в умовах часткового уявлення про власне оточення;
- модель поведінки відповідає переліку цілей.

Агенти можуть приймати власні рішення, без участі та втручання центрального контролера. Автономність кожного агента пов'язана з його ресурсами. Наприклад, акумуляуюча батарея може заряджатися, коли ціна на електроенергію низька або рівень заряду низький. Відповідні місцеві агенти самостійно вирішують, коли заряджати акумулятор, опираючись на власну модель поведінки, перелік правил та цілей. Агенти здатні змінювати своє середовище в процесі своїх дій.

Мультиагентний підхід до розробки систем має кілька явних переваг у порівнянні з традиційними підходами до контролю і управління системами розподіленого енергопостачання [17, 18]. Деякі важливі переваги мультиагентного системного підходу коротко пояснюються наступним чином.

- автономність агентів: агент веде себе самостійно в своєму середовищі залежно від своїх індивідуальних цілей [19];
- зниження трафіку передачі даних: в МАС інформація обробляється локально в агентах [20], і тільки кінцевими знаннями обмінюються з іншими агентами;

— підвищена надійність систем управління: якщо в МАС один з агентів контролера дає збій, інші агенти контролера адаптуються до ситуації і продовжують роботу системи;

— відкритість системи: МАС дозволяє виробникам розподілених енергоресурсів вбудовувати програмний агент в апаратне обладнання відповідно до певних правил, чим забезпечується підхід «підключи і працюй» [21];

— самонавчання агентів: агенти оновлюють свою поведінку, ґрунтуючись на ефективності правил, щоб забезпечити більш високу продуктивність [22, 23].

Як правило, проектування МАС складається з трьох етапів, таких як концептуалізація, аналіз і проектування. Завдання, які мають бути вирішені, визначаються на етапі концептуалізації, аналізується на етапі аналізу, а результати етапу аналізу використовуються для створення агентів і їх комунікаційної стратегії.

Методологія починається (рисунок 2.1) зі специфікації системних вимог і збору знань, необхідних для виконання цих вимог. На етапі декомпозиції задач специфікація вимог і знань, отриманих на попередньому етапі, перетворюється в ієрархію завдань і підзадач. Після декомпозиції задачі створюється онтологія, що є словником для зв'язків між агентами. Етап моделювання агентів використовує ієрархію завдань і онтологію, щоб визначити групу автономних агентів, здатних виконувати завдання. Агент може інкапсулювати одне або кілька завдань, а кожна задача в ієрархії повинна бути приписана як мінімум одному агенту. На цьому етапі результатом є набір агентів і конкретних завдань, які агенти повинні виконувати. Після того, як визначені агенти, повинні бути визначені і взаємодії між ними. Останнім етапом є розробка і забезпечення взаємодії агентів і контроль їх функціональності.

Взаємодія агентів МАС будується з урахуванням як цілей агентів так і цілей системи в цілому. Якщо МАС дійсно відкриті, слід також враховувати взаємодію агента з іншими майбутніми агентами. Більшу увагу слід приділити

розробці типів зв'язку агентів, аніж конкретним протоколам зв'язку, необхідних для виконання поставленого завдання.



Рисунок 2.1. Стадії проектування МАС.

В процесі розробки МАС необхідно вирішити наступні задачі: проектування інтелектуальних агентів, вибір галузевих стандартів, вибір мови спілкування агентів, розробка онтологій взаємодії агентів, вибір мультиагентної платформи.

2.3.1 Підходи до розробки інтелектуальних агентів МАС

Існує декілька підходів для створення окремих автономних інтелектуальних агентів, таких як: агенти Belief Desire і Intention (далі BDI), реактивні агенти, агенти з багаторівневою архітектурою [14] та імітаційні агенти [24]. Підхід BDI заснований на інтелектуальних моделях переконань, бажань і намірів агента. Згідно з цим підходом агент має переконання про себе,

інших агентів і навколишнє середовище, та наміри про свої власні майбутні дії. Реактивні агенти зазвичай пов'язані з моделлю інтелекту. Основна властивість реактивних агентів полягає в тому, що вони не здійснюють міркування через взаємодію з навколишнім середовищем.

2.3.2 Стандарти розробки МАС

Стандарти IEEE Foundation for Intelligent Physical Agent (FIPA) [25] є найбільш загальноприйнятими стандартами для розробки і управління МАС. Еталонна модель управління агентами FIPA [25], дозволяє агентам зв'язуватися один з одним шляхом визначення стандарту обміну повідомленнями, та створення двох концепцій каталогів: служби управління агентами AMS («білі сторінки») і каталога DF («жовті сторінки»).

Служба управління агентами AMS відповідає за управління платформою агентів, яка підтримує каталог ідентифікаторів агентів і станів агентів. AMS має список зареєстрованих агентів і поводить себе як білі сторінки. DF надає стандартні сервіси жовтих сторінок в платформі, які дозволяють агентам виявляти інших агентів в мережі на базі послуг, які вони хочуть запропонувати або отримати. Нарешті, служба транспортування повідомлень MTS, надає середовище, яке відповідає за доставку повідомлень між агентами.

2.3.3 Методи організації міжагентного спілкування

Існує ряд різних методів організації міжагентного спілкування, таких як ARCHON [26] і blackboard [27] system. Одною з перших мов спілкування між агентами (ACL), яка використовується різними дослідниками в різних областях, є мова запитів і маніпулювання знаннями (KQML) [28]. В останні роки KQML був замінений FIPA-ACL. FIPA-ACL включає в себе багато аспектів KQML [25]. Ці мови визначають, як повідомлення повинні бути сформовані. Повідомлення FIPA-ACL [25] містить 13 полів: Performative, Sender, Receiver, Reply-to, Content, Language, Encoding, Ontology, Protocol, Conversion-id, Reply-with, In reply-to and Reply-by.

Перше і єдине обов'язкове поле в повідомленні – це поле Performative, яке визначає тип комунікаційного повідомлення. Класифікуючи повідомлення з

використанням поля *Performative*, FIPA-ACL гарантує, що одержувачі зрозуміють значення повідомлення так само, як і відправник, усуваючи будь-яку двозначність щодо змісту повідомлення. Перелік основних типів комунікаційних повідомлень: угода, скасування, підтвердження, відмова, повідомлення, запит, запит і пропозиція. FIPA визначає комунікативні протоколи, які визначають тип вмісту повідомлень, очікуваних кожним агентом під час певних типів комунікації [25]. FIPA Request, FIPA Query, FIPA Auction English, FIPA Auction Dutch і FIPA Brokering є одними з стандартних протоколів.

2.3.4 Роль онтологій в MAC

Зміст повідомлення між агентами складається з двох частин: мова вмісту і онтологія. Мова контенту визначає синтаксис або граматику контенту. Семантика береться з онтології. Онтології надають спосіб структурування інформації для декількох агентів в MAC, щоб зрозуміти семантику знань і узгодити термінологію, яка використовується під час взаємодії агентів.

В процесі програмної реалізації MAC за допомогою платформи MAC [29], онтологія може використовуватися в якості ієрархії класів: концептів, предикатів і дій агентів. Концепт – це вираз, який вказує на об'єкти зі складною структурою, які можуть бути визначені як ролі або властивості. Концепти представляють агентів, які мають відношення до конкретної операції. Предикати – це вирази, які говорять про статус або взаємозв'язок понять. Дії оператора вказують на дії, які можуть бути виконані агентами.

Для енергомереж створено кілька різних онтологій. Незважаючи на те, що онтології різні, енергомережі, як правило, охоплюють загальні поняття, такі як «мікромережа», «навантаження» і «генератор». Проблема в тому, що спосіб представлення цих понять в онтологіях різний. Іншими словами, агенти говорять однією мовою, але не мають загального словникового запасу. Ця проблема може бути подолана шляхом використання узагальненої онтології для енергетичних систем. Розробники мультиагентних систем можуть потім розширити цю узагальнену онтологію для своїх додатків.

2.3.5 Платформи для розробки MAC

З кінця минулого сторіччя було розроблено багато мультиагентних платформ або загального застосування, або орієнтовані на конкретну область використання. Деякі з них уже застаріли та не супроводжуються виробниками, в той час як інші продовжують існувати та для них випускаються нові версії. З іншого боку, дослідницьке співтовариство розробляє все нові й нові мультиагентні платформи. Отже, поширеною проблемою, для розробників ПЗ є оптимальний вибір мультиагентної платформи для використання, щоб отримати перевагу від агентного підходу.

Оптимальна платформа повинна мати гнучку, розширювану і відкриту архітектуру з суворим дотриманням існуючих стандартів. Крім того, агенти повинні мати можливість взаємодіяти один з одним незалежно від платформи, на якій вони працюють. Більшість платформ пропонують функціональні можливості, які спрощують процес програмування і використання MAC.

Для розробки мультиагентних систем існує ряд платформ, таких як: Agent Factory, AGLOBE, AnyLogic, EMERALD, GAMA, JADE, JAS, Repast.

Agent Factory Framework (2011 p.) – набір інструментів, бібліотек та мов з відкритим кодом. Framework поділений на дві частини. Agent Factory Standard Edition (AFSE), для розгортання агентів на ноутбуках, стільних ПК та серверах. Agent Factory Micro Edition (AFME), для розгортання агентів на пристроях із обмеженими ресурсами, таких як мобільні телефони та датчики. Agent Factory застосовується в ряді проектів мобільних обчислень, робототехніці та інші.

AGLOBE (2006 p.) – мультиагентна платформа, розроблена для тестування експериментальних сценаріїв. Вона має дуже швидкий зв'язок між агентами, а платформа порівняно легка. Однак недоліком платформи AGLOBE є те, що вона не повністю відповідає специфікаціям FIPA – вона не підтримує міжплатформенну комунікацію. Вона підходить для імітаційного моделювання реального світу.

AnyLogic (2013 р.) – це багатомодульна імітаційна платформа, яка підтримує не лише моделювання загального призначення на основі агентів, але й підтримує систему динамічного моделювання, орієнтовану на процеси (дискретні події). Графічний інтерфейс, інструменти та об'єкти бібліотеки AnyLogic дозволяють швидко моделювати різні сфери, такі як виробництво та логістика, бізнес-процеси, людські ресурси, поведінка споживачів та пацієнтів. Однак недоліком в сенсі агентного підходу є те, що ця платформа має об'єктно-орієнтовану парадигму проектування моделі.

EMERALD (2010 р.) – побудована поверх JADE і повністю сумісна з FIPA. Платформа підтримує різні програмні технології, такі як Java, JESS, XML, RDF, RuleML та Prolog. Крім того, EMERALD є єдиною мультиагентною платформою, яка підтримує механізми довіри та репутації з метою підтримки надійності та ефективності прийняття рішень у мультиагентній системі. Вона застосовується при моделюванні того, як агенти діють від імені своїх користувачів у таких випадках, як торгівля.

GAMA (2013 р.) – це імітаційна платформа 3D-візуалізації, спрямована на управління даними ГІС та багаторівневе моделювання. Вона більш спеціалізована, ніж універсальна.

JADE (2003 р.) – це платформа, повністю реалізована на Java. Вона спрощує реалізацію мультиагентних систем через проміжне програмне забезпечення, що повністю відповідає специфікаціям FIPA. Платформа агента може бути розповсюджена на пристроях, яким навіть не потрібно спільно використовувати одну і ту ж ОС, а конфігурацією можна керувати через віддалений графічний інтерфейс. Конфігурацію можна навіть змінити під час виконання, переміщуючи агенти з одного пристрою на інший, як і коли потрібно. Мінімальною системною вимогою є версія 1.2 JAVA (середовище run time environment або JDK), отже, вона може бути адаптована для використання на пристроях з обмеженими ресурсами, таких як мобільні телефони. JADE – промислово орієнтовна платформа, і в даний час це найпопулярніша платформа

агентів, сумісних з FIPA, в академічному та промисловому співтоваристві. Вона безкоштовна, відкрита, стабільна, розповсюджується Telecom Italia.

JAS (2004р.) – це симуляційний інструментарій, який не є чистою мультиагентною платформою. Він спеціально розроблений для моделювання агентів.

Repast Suite (2007 р.) – це сімейство передових, безкоштовних та відкритих платформ моделювання, з відкритим кодом, які колективно перебувають у постійній розробці протягом більше 14 років. Він широко вживаний, безплатний та з відкритим кодом, крос-платформений інструментарій для моделювання та має безліч вбудованих адаптивних функцій.

2.4 Вибір оптимальної платформи для розробки програмного проекту MAC microGrid

Наявність універсальних критеріїв для оцінювання та порівняння платформ має суттєві переваги. Аналіз проведений за наступним рядом критеріїв, за яким можна детально характеризувати обрані мультиагентні платформи: зручність інтерфейсу користувача, складність освоєння, масштабованість, відповідність стандартам, методи комунікації між агентами, продуктивність, стабільність, мова програмування агентів, підтримка ОС, метод інсталяції, популярність, ціна, безпека комунікації агентів, захищеність платформи. Далі в таблиці 2.1 наведений порівняльний аналіз мультиагентних платформ за обраними критеріями.

Таблиця 2.1. Порівняльний аналіз існуючих платформ для розробки MAC

Критерій оцінки/Назва продукту	Agent Factory	AGLOBE	AnyLogic	EMERALD	GAMA	JADE	JAS	Repast Suite
Зручність інтерфейсу користувача	Середня	Середня	Середня	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня
Складність освоєння	Середня	Низька	Низька	Низька	Низька	Дуже Низька	Низька	Низька
Маштабованість	Середня	Висока	Висока	Висока	Середня	Висока	Середня	Середня
Відповідність стандартам	Частково FIPA	Частково FIPA, GIS	GIS, 3D	FIPA, Semantic Web	FIPA, GIS, 3D	FIPA, CORBA	частково FIPA, GraphML, XML	Не відомо
Методи комунікації між агентами	HTTP	ACL	Власний синтаксис	ACL	ACL-GAML	ACL, MTPs, RMI, IIOP, HTTP, WAP	Власний синтаксис	peer-to-peer
Продуктивність	Середня	Висока	Висока	Висока	Середня	Висока (дуже швидка комунікація між агентами)	Середня	Висока
Стабільність	Середня	Висока	Висока	Висока	Середня	Висока	Середня	Висока
Мова програмування агентів	Java, AFAPL, AgentSpeak	Java	Java, UML-RT	Java, JESS, RuleML, Prolog+XML, RDF	GAML	Java	Java	Java, C#, C++, Lisp, Prolog, Python

Таблиця 2.1. (Продовження)

Критерій оцінки/Назва продукту	Agent Factory	AGLOBE	AnyLogic	EMERALD	GAMA	JADE	JAS	Repast Suite
Підтримка ОС	Будь-яка із JVM	Будь-яка із JVM	Будь-яка із JVM	Будь-яка із JVM	Mac OS X, Windows, Linux	Будь-яка із JVM	Будь-яка із JVM	Будь-яка із JVM
Метод інсталяції	Eclipse plug-in	Запуск через cmd	Інсталятор	Інсталятор	Інсталятор	Запуск через cmd	Апропріативний jar file	Інсталятори
Популярність	Низька	Середня	Середня	Низька	Низька	Висока	Середня	Середня
Ціна	Безкоштовна	Безкоштовна	3-15\$	Безкоштовна	Безкоштовна	Безкоштовна	Безкоштовна	Безкоштовна
Безпека комунікації агентів	Підпис та шифрування	Не відомо	Аутентифікація	Підпис та шифрування, підтримка HTTPS	Відсутня	Підпис та шифрування, підтримка HTTPS	Не відомо	Не відомо
Захищеність платформи	Середня	Сильна (закрита система)	Сильна (закрита система)	Сильна	Середня	Сильна (аутентифікація користувачів, Jaas API)	Низька	Середня

Відповідність FIPA є орієнтиром для багатьох розробників МАС. Частина платформ повністю сумісні, тоді як інші відповідають лише деяким наявним специфікаціям. У таблиці 2.2 представлений огляд відповідності FIPA для вищеписаних платформ агентів.

Таблиця 2.2. Відповідність платформ стандартам FIPA

Відповідність FIPA	Платформа
повна	JADE, EMERALD
часткова	JAS, AGLOBE, Agent Factory, GAMA
відсутня	Repast, AnyLogic

Відповідність FIPA дає певні переваги, які можуть бути корисними або навіть вирішальними в деяких випадках. Наприклад, сумісність з FIPA гарантує архітектуру та продуктивність системи завдяки потужним і добре перевіреним протоколам, що дозволяють агентам співпрацювати та взаємодіяти.

Висновки до розділу

Мультиагентний підхід дозволяє додавати нові функціональні можливості до роботи системи. МАС стає новою парадигмою в управлінні сучасними Microgrid та Smart Grid мережами. На сьогодні немає альтернативи, що запропонує еквівалентні результати зі схожою інфраструктурою, особливо з точки зору обсягу даних і обчислювальних потужностей.

Технологія інтелектуальних МАС має значні перевагами для спрощення багатьох стратегій децентралізованого управління, моделювання систем і підвищення ефективності сучасного управління електропостачанням.

3. ЗАСОБИ РОЗРОБКИ

Для розробки безпосередньо алгоритмів використовувалась мова програмування Java SE. Використання цієї мови програмування обумовлене вибором платформи JADE для розробки MAC. Таким чином програмний продукт може бути також встановлений на будь-який пристрій із JVM.

Основним середовищем розробки був редактор Eclipse для десктопної частини та Android Studio для мобільного додатку. Графічний інтерфейс використовує компоненти бібліотеки Swing. Для створення, запуску, моніторингу та супроводу мультиагентної системи використана бібліотека JADE (для ПК) та JADE-ANDROID (для мобільних додатків).

Технологія Java структурована в 4 редакції відповідно до цільового пристроя і очікуваними підтримуваними функціями: серверні додатки (J2EE), десктопні додатки (J2SE), портативні і мобільні пристрої (J2ME), пристрої SIM / смарт-карти (Java Card). JADE повністю реалізований на мові Java, і платформу можна інсталиувати на всіх типи віртуальних машин Java, за винятком Java Card.

3.1 Моделі комунікацій між агентами

«Клієнт-сервер» – це широко поширена модель для комунікації розподілених додатків. Модель заснована на жорсткому розмежуванні ролей між клієнтськими вузлами (запитувач ресурсів) і серверними вузлами (постачальники ресурсів). Вузли сервера надають послуги, в залежності від можливостей розподіленої системи, але вони не здатні проявляти ініціативу самостійно, так як вони повністю реагують і просто чекають виклику від клієнтських вузлів. Клієнтські вузли, навпаки, концентрують всю ініціативу системи: вони звертаються до служб і використовують їх, як правило, але не обов'язково, за запитами користувача, але вони ніколи не надають ніяких можливостей.

В моделі peer-to-peer (далі P2P) немає відмінностей між ролями, і кожен вузол може ініціювати зв'язок, бути суб'єктом або об'єктом запиту, бути проактивним, забезпечити функціональність. Логіка додатка більше не зосереджена на сервері, а розподілена між усіма вузлами мережі. Кожен вузол здатний виявляти один одного, він може приєднуватися чи від'єднуватись від мережі в будь-який час в будь-якому місці. Система стає повністю розподіленою.

Важливим наслідком відмінностей між двома моделями є спосіб виявлення вузлів. У «клієнт-серверних» системах клієнти повинні знати свої сервери, але їм не потрібно знати інших клієнтів. У P2P-системах знаходження агентами один одного є цілком незабороненим, тому система повинна надавати належні сервіси, які дозволяють вузлам входити, приєднуватися чи виходити з мережі в будь-який час, а також здійснювати пошук і виявлення інших вузлів. Цими службами зазвичай є механізми «білих» і «жовтих сторінок», які дозволяють публікувати і виявляти функції і послуги, пропоновані одноранговим вузлом. На основі реалізації цих механізмів можна ідентифікувати дві базові моделі мережі P2P (рисунок 3.1): чисті мережі P2P (повністю децентралізовані) і гібридні мережі P2P (з центральним сервісом «жовтих сторінок»).



а) Модель «клієнт-сервер» б) Гібридна модель P2P в) Чиста P2P

Рисунок 3.1. Моделі зв'язку між агентами

Чиста P2P-мережа повністю децентралізована, а однорангові вузли повністю автономні. Відсутність будь-якого центрального вузла ускладнює

підтримку узгодженості мережі. Також, так як кожен вузол має право підключатися до мережі без будь-якого механізму управління, виникають істотні проблеми із забезпеченням аутентифікації вузлів в мережі.

Замість цього гібридні архітектури відрізняються наявністю спеціального вузла, який спрощує пошук і виявлення активних тимчасових вузлів, їх список можливостей і список послуг, що надаються ними. Ці типи мереж, як правило, генерують менше трафіку і є більш безпечними, оскільки вони, вимагають також реєстрації і аутентифікації тимчасових вузлів.

3.2 Мультиагентна платформа JADE

JADE [30] – це проміжне програмне забезпечення, розроблене TILAB для створення розподілених мультиагентних програмних комплексів, заснованих на архітектурі P2P зв'язку. Інтелект, ініціатива, інформація, ресурси і контроль можуть бути повністю розподілені на мобільних терміналах, а також на комп'ютерах у певній мережі. Середовище може динамічно поповнюватись одноранговими вузлами (агентами), які з'являються і зникають в системі відповідно до потреб і вимог програмного засобу. Зв'язок між одноранговими вузлами, незалежно від того, чи працюють вони в бездротовій мережі, чи ні – повністю симетричний. Кожен вузол може грати роль як ініціатора так і відповідача.

JADE заснований на наступних головних принципах:

- JADE відповідає специфікаціям FIPA [25], і як наслідок, агенти JADE можуть взаємодіяти з іншими агентами за умови, що вони відповідають одному і тому ж стандарту (сумісність);

- JADE надає однорідний набір API, що не залежать від базової мережі і версії Java, надає однакові API як для середовища J2EE, J2SE, так і для J2ME (однорідність і портативність);

- складність проміжного програмного забезпечення прихована за простим і інтуїтивно зрозумілим набором API (простота використання);

— програмістам не потрібно використовувати всі можливості, що надаються проміжним програмним забезпеченням, тобто функції, які не застосовуються, не навантажують апаратні пристрої додатковими обчисленнями (філософія «оплати по мірі використання»).

Бібліотека JADE складається з Java класів, необхідних як для розробки програмних агентів, так і середовища виконання, яке має базові служби, і яке повинне бути активним на пристрої, перш ніж запуститься програмний агент. Кожен екземпляр середовища виконання JADE називається контейнером (оскільки він «містить» агентів). Набір всіх контейнерів називається платформою і забезпечує однорідний рівень, який приховує від агента (і розробника також) труднощі нижнього рівня (апаратні засоби, операційну систему, типи мереж, JVM).

З функціональної точки зору, платформа JADE надає базові сервіси, необхідні для розподілених P2P додатків в фіксованому та мобільному середовищі. JADE дозволяє кожному агенту динамічно знаходити інших агентів і комунікувати з ними відповідно до моделі P2P. З точки зору програми, кожен агент ідентифікується унікальним ім'ям і надає набір послуг. Він може реєструвати і змінювати свої послуги і/або шукати агентів, що надають дані послуги, він може контролювати свій життєвий цикл і, зокрема, спілкуватися з усіма іншими партнерами.

Агенти обмінюються інформацією асинхронними повідомленнями. Така модель зв'язку прийнята для розподілених і слабосвязаних комунікацій, тобто між різнорідними об'єктами, які нічого не знають один про одного. Для зв'язку агент просто відправляє повідомлення в пункт призначення. Між взаємодіючими агентами немає часової залежності. Відправник і одержувач можуть бути доступні не одночасно. Одержувача може навіть не існувати (або ще не існувати) або може бути безпосередньо не відомий відправник. JADE надає належні механізми для аутентифікації і перевірки «прав», наданих агентам. Тому при необхідності додаток може перевіряти особу відправника повідомлення і запобігати діям, які йому не дозволені. Всі повідомлення, якими

обмінюються агенти, заключаються в обгортку, яка включає інформацію, необхідну тільки транспортному рівню. Це дозволяє, шифрувати вміст повідомлення окремо від обгортки.

Агенти комунікують один з одним, тому мова спілкування між агентами ACL є одним з основних активів стандарту FIPA. FIPA стандарт має бібліотеку з 22 типів комунікацій, які дозволяють представляти різні комунікативні наміри. Такі як: запит, пропозиція, інформування, запит на пропозицію, відмова та інші. FIPA також визначила структуру повідомлення, яка дозволяє представляти і передавати інформацію, корисну для ідентифікації відправника і одержувачів. А також зміст повідомлення і його властивості: кодування і мова подання. Нарешті – інформацію, корисну для ідентифікації та спостереження за ланцюжками повідомлень між агентами та надання тайм-аутів для спілкування. Загальні шаблони повідомлень та ланцюжків повідомлень також були визначені FIPA, так званими протоколами взаємодії, які надають агентам бібліотеку шаблонів для виконання спільних завдань, таких як делегування дії, виклик пропозиції.

Структура повідомлення відповідає мові ACL, визначена FIPA [25]. Для подальшої підтримки реалізації складних взаємодій між агентами, JADE надає набір типових шаблонів взаємодії для виконання конкретних завдань, таких як переговори, аукціони і делегування завдань. Використовуючи ці шаблони (абстрактні класи Java), програмісти можуть позбутися проблем синхронізації, тайм-аутів, помилкових умов, та усіх інших аспектів, які не пов'язані безпосередньо з поведінкою агента. Щоб спростити створення і обробку вмісту повідомлень, JADE забезпечує підтримку автоматичної серіалізації контенту в XML і RDF. Ця підтримка інтегрована з інструментами створення онтологій, наприклад, Protege, що дозволяє програмістам графічно створювати свою онтологію.

Для покращення масштабованості, JADE надає можливість виконувати кілька паралельних процесів в одному потоці Java. Кілька елементарних

процесів, таких як комунікація, можуть потім бути об'єднані, щоб сформувати більш складні процеси.

Середовища J2SE і Personal Java JADE підтримують мобільність коду і процесу виконання. Таким чином, агент може припинити роботу на хості, виконати міграцію на інший віддалений хост (без необхідності інсталяції агента на цьому хості) і продовжити виконання з того моменту, коли він був перерваний. Ця можливість дозволяє розподіляти обчислювальне навантаження під час виконання шляхом переміщення агентів на менш завантажені вузли.

Ще одна важлива особливість полягає в доступності набору графічних інструментів, для фази налагодження, управління та моніторингу життєвого циклу агентів. За допомогою цих інструментів можна дистанційно керувати агентами, навіть якщо вони вже розгорнуті і функціонують.

Цикл життя агента JADE відповідає циклу, запропонованому FIPA. Ці агенти проходять через різні стани, визначені як:

- Initiated – агент створено, але ще не зареєстрований в AMS;
- Active – агент зареєстрований і має 37нт'я – у такому стані він може спілкуватися з іншими агентами;
- Suspended – агент зупиняється, оскільки його потік зупинено;
- Waiting – агент заблокований в очікуванні події;
- Deleted – агент закінчив роботу, і його потік завершився, в AMS його більше немає;
- Transit – агент змінює місцезнаходження.

3.3 Платформа JADE в мобільному середовищі та умовах обмежених ресурсів

Платформа JADE може бути розгорнута на широкому класі пристроїв, від серверів до мобільних телефонів. Для телефонів єдиною мінімальною вимогою є версія Java MIDP1.0. Належним чином враховуються обмеження пам'яті і потужності обробки мобільних пристроїв, характеристики бездротових мереж (зокрема, GPRS), їх пропускна здатність, затримки зв'язку і мінливості IP-

адреси. Архітектура JADE є повністю модульною, і, активуючи одні модулі замість інших, можна отримати різні вимоги до пам'яті і обчислювальних потужностей.

Модуль LEAP дозволяє оптимізувати всі комунікаційні механізми при роботі на пристроях з обмеженими ресурсами і підключенням через бездротові мережі. При активації цього модуля контейнер JADE ділиться, на front-end частину, що фактично працює на мобільному терміналі, і back-end частину, що працює у фіксованій мережі (рисунк. 3.2).

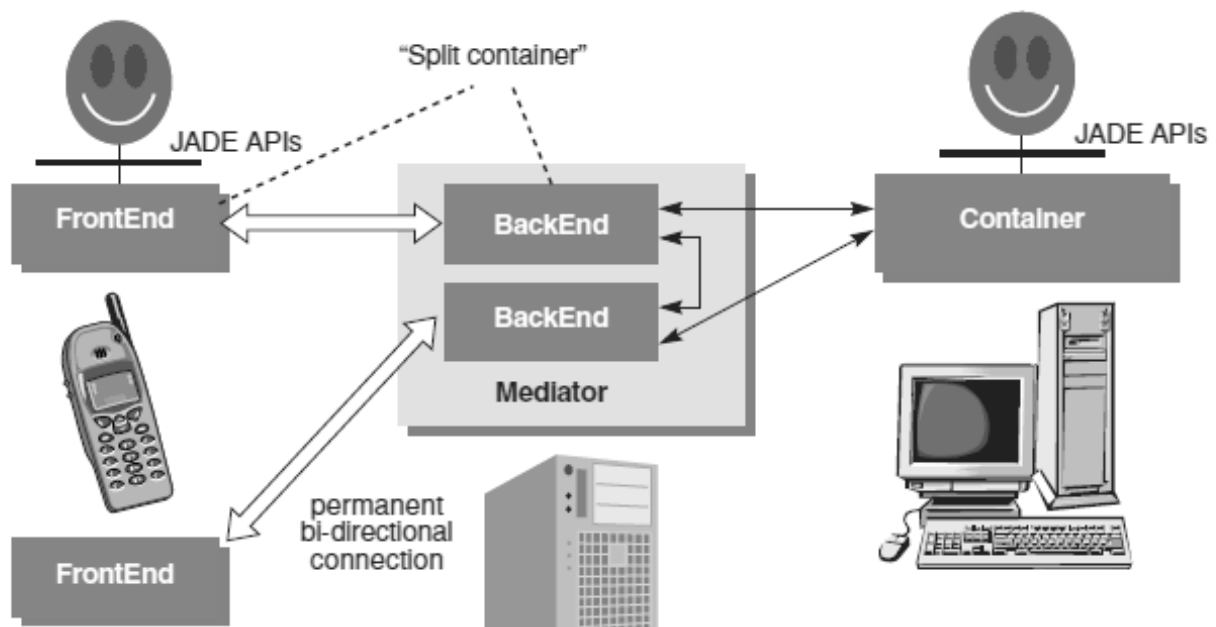


Рисунок 3.2. Механізм роботи JADE на пристроях із обмеженими ресурсами

Належний архітектурний елемент, «медіатор», повинен бути заздалегіть активованим і відповідати за створення та зберігання back-end частин. Щоб впоратися з проблемами робочого навантаження, можна використовувати кілька посередників, кожен з яких містить кілька back-end частин. Кожен front-end інтерфейс пов'язаний з відповідним back-end сервером за допомогою постійного двонаправленого з'єднання. Особливо важливим є те, що для розробників програмного забезпечення не має ніякої різниці: агент розгорнуто в звичайному контейнері або в зовнішньому інтерфейсі розділеного

контейнера. Уся функціональність та API-інтерфейси для доступу до функціональності ті ж самі.

Подібний підхід має ряд переваг:

- частина функцій контейнера делегована серверу, що робить його дуже легким з точки зору потреб пам'яті і обчислювальних потужностей;
- сервер маскує для інших контейнерів фактичні IP-адреса, призначені бездротовим пристроям, що дозволяє приховати їх для решти агентів MAC;
- інтерфейсна частина може виявити втрату з'єднання з сервером і самостійно відновити його як тільки це стане можливим;
- як в інтерфейсній частині, так і в серверній, реалізовані механізми накопичення і пересилки – повідомлення, які не можуть бути передані через тимчасове роз'єднання, буферизуються і доставляються, як тільки з'єднання відновлюється.

Обсяг пам'яті JADE під час виконання, в MIDP1.0 оточенні становить близько 100 КБ, але може бути додатково зменшений до 50 КБ (рисунок 3.3) з використанням техніки ROMizing [31], тобто компіляції JADE разом з JVM.

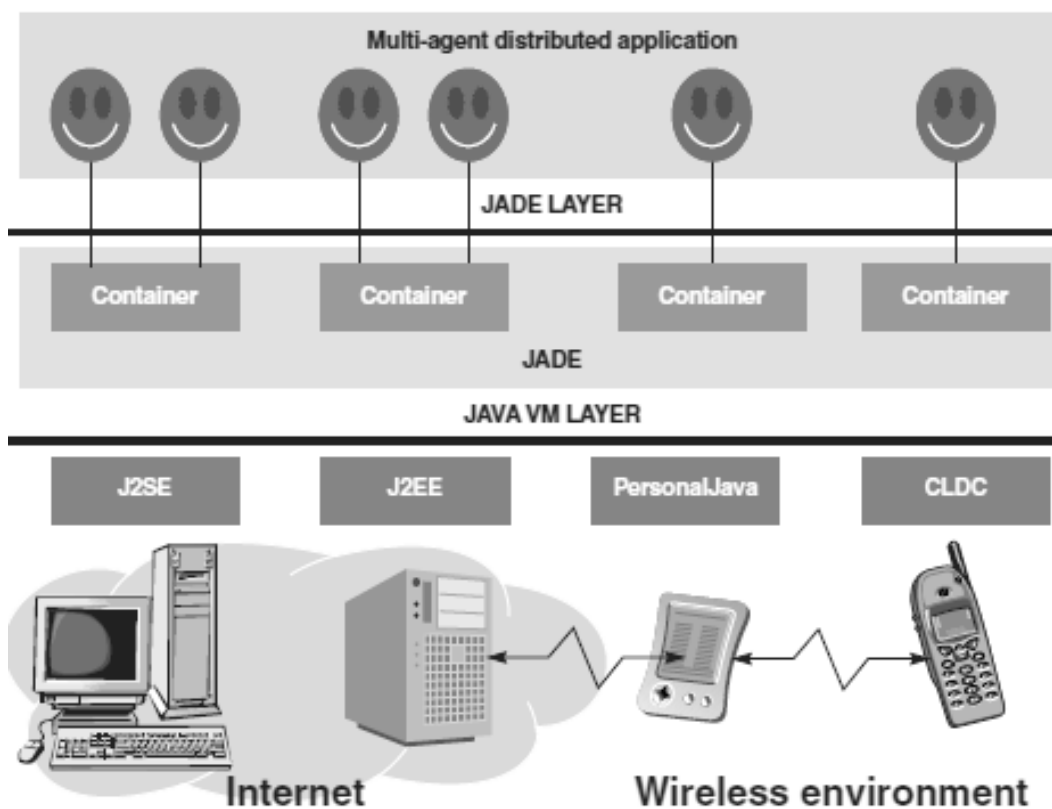


Рисунок 3.3. Масштабованість платформи JADE

Обмежене використання обсягу пам'яті дозволяє встановлювати JADE на всі мобільні телефони за умови, що вони підтримують Java.

Висновки до розділу

JADE спрощує розробку розподілених додатків, що складаються з автономних об'єктів, яким необхідно взаємодіяти і співпрацювати для досягнення спільної мети системи. Розробники ПЗ можуть зосередити увагу на логіці програми, а не на проблемах проміжного програмного забезпечення, таких як виявлення і встановлення контактів між об'єктами системи.

JADE надає розробникам прості у використанні програмні бібліотеки для реалізації P2P протоколів зв'язку. Агенти JADE контролюють свій власний потік виконання і, отже, їх можна легко запрограмувати на ініціювання виконання дій без втручання людини лише на основі змін мети і стану. Оскільки агенти JADE можуть надавати і використовувати сервіси, вони усувають необхідність поділятися на клієнтів і сервери. Агенти JADE спілкуються один з одним без втручання центрального сервера. P2P підхід дозволяє реалізувати програми, в яких право прийняття рішень розподіляється між агентами. JADE повністю відповідає специфікаціям FIPA, які забезпечують коректну взаємодію між агентами різних мультиагентних платформ. JADE надає однорідний набір API, що не залежать від типу базової мережі і версії Java. Фактично, він забезпечує однакові API для середовища J2EE, J2SE і J2ME. Ця особливість дозволяє розробникам додатків повторно використовувати один і той же код додатка для ПК, КПК або Javaphone.

4. ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

В результаті дослідження предметної області та міжнародного досвіду розробки мультіагентних систем управління мікромережами мною була запропонована архітектура мультіагентної системи за наступною принциповою схемою (рисунок 4.1).

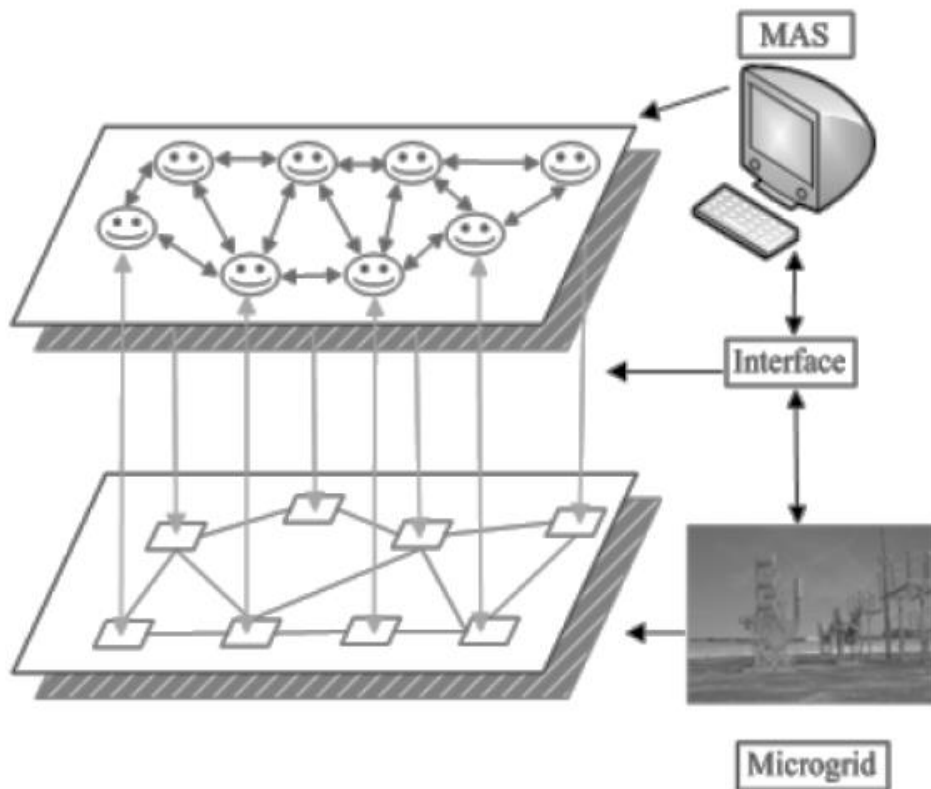


Рисунок 4.1. Принципова схема розробленої системи

Як видно зі схеми, фізичні об'єкти енергоінфраструктури в microGrid мережах поєднані між собою лініями зв'язку. Кожен з цих об'єктів: генератор, або трансформатор, або датчик має свого власного програмного агента, який функціонує в комунікативному середовищі мультіагентної платформи. Фізичний рівень та програмний агент пов'язані між собою інтерфейсом проміжного програмного забезпечення JADE. Автономні програмні агенти формують мультіагентну систему розподіленої енергомережі. Від складності

моделі поведінки кожного з агентів та загальної організації міжагентного спілкування залежить рівень інтелектуальності системи в цілому.

4.1 Архітектура управління мережею

Розроблена структура управління має наступний вид, як показано на рисунку 4.2. На нижньому рівні мікромережі знаходяться локальні мікроконтролери. Вони мають власну автономію, однак не мають значних обчислювальних ресурсів, тому їх поведінка дуже швидка, але не є інтелектуальною.

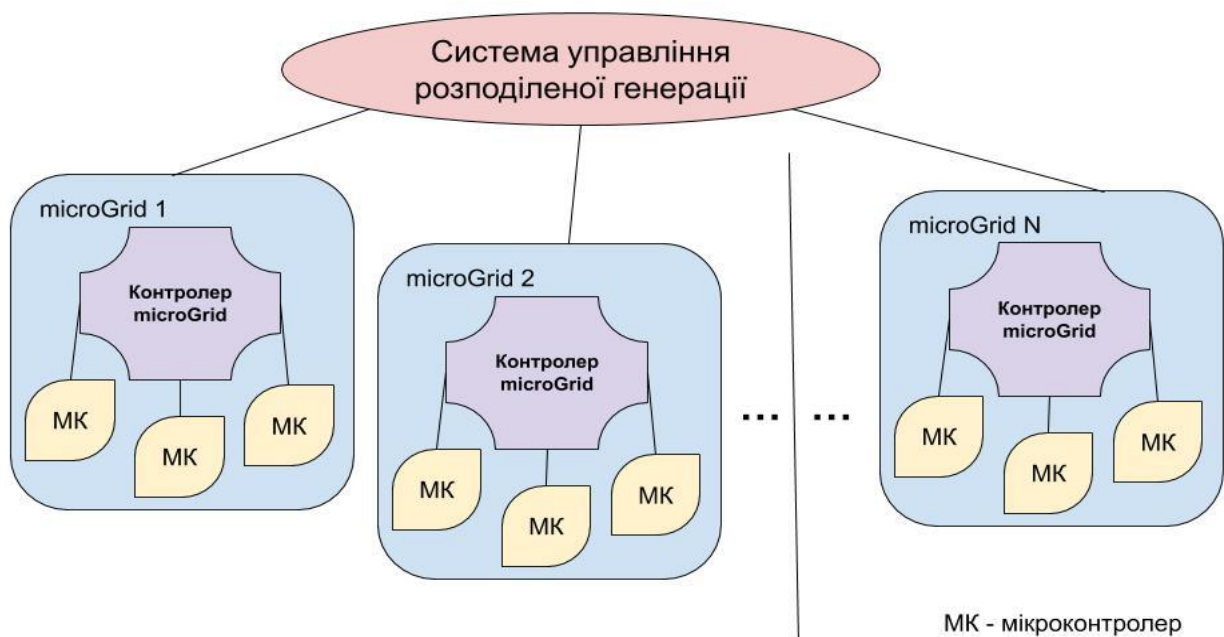


Рисунок 4.2. Ієрархічна структура управління мережею

В кожній мікромережі над системою із локальних мікроконтролерів знаходиться контролер microGrid. Він відповідає за прогнозування попиту та потенційної потужності генерації електроенергії, а також оптимізує роботу мікромережі шляхом оптимальної координації локальних контролерів. Ряд задач, які він виконує вимагають наявності достатньої кількості обчислювальних ресурсів, і тому поведінка цих агентів вже є інтелектуальною. Кожна мікромережа так само розглядається, як автономний об'єкт розподілених енергомереж, тому моделюється як окремий інтелектуальний агент мережі. Оскільки мікромереж в системі може бути декілька, на верхньому

рівні знаходиться глобальна система управління розподіленої генерації. На цьому рівні розміщені значні ресурси для обчислень, аналітичні блоки та масиви даних.

Також відповідно до цієї рівневої структури, в системі передбачені різні ступіні свободи агентів: чим нижче рівень агента, тим більше обмежень він має. На рисунку 4.3 зображена рівнева архітектура для агентів microGrid.

Агенти реактивного рівня виконують програмовані прості дії. Головною вимогою для цього рівня є швидкість реакції. Агентам цього рівня необов'язково мати повну уяву про поточний стан або структуру усієї системи. Параметри налаштувань агентів реактивного рівня можуть бути обмежені агентом координаційного рівня.

Типовими поведінковими сценаріями реактивних агентів є:

- реєстрація агента в мережі;
- базова поведінка, яка вказана при реєстрації;
- зв'язок з агентом координаційного рівня, для спільної роботи;
- поведінка в аномальних ситуаціях: втрата зв'язку, поломка обладнання та ін.

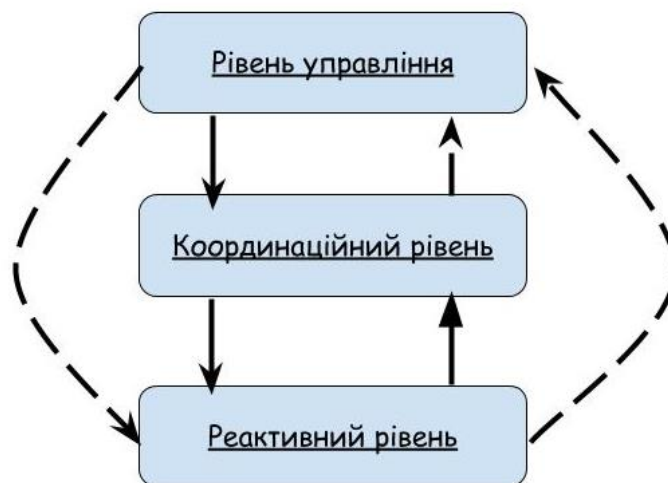


Рисунок 4.3. Рівнева структура агентів мікромереж

Агенти координаційного реагують на ініціативи від реактивних агентів, можуть виконувати спільну роботу з метою вирішення проблем в процесі управління. Головною задачею рівня є отримання команд від глобального рівня

управління та декомпозиція на управляючі інструкції для агентів реактивного рівня. Координаційні агенти можуть мати наступні поведінкові сценарії:

- диспетчеризація мережі та діагностика поломок;
- аналіз та прогнозування поточного рівня попиту та рівня потужності генеруючого обладнання;
- зміна налаштувань реактивних агентів;
- зв'язок з агентом глобального рівня управління;
- графічне відображення поточного стану microGrid мережі для диспетчера;
- поведінка в умовах втрати зв'язку з агентами реактивного рівня.

Відмінністю агентів координаційного рівня є те, що вони здатні впливати на поведінку реактивних агентів, обмежуючи їх або ініціюючи сценарії управляючими інструкціями.

Агенти глобального рівня можуть реагувати на ініціативи реактивних агентів тільки у випадку, якщо пріоритет цієї ініціативи більше заданого порогового значення. Наприклад в випадку втрати контролю над агентом координаційного рівня, або підозри втручання в мережу, або загрози безпеці управління мікромережами. Агенти глобального рівня мають наступні задачі:

- самовідновлення мереж з урахуванням поточної інформації від координаційного рівня;
- інспекція агентів на предмет «свій-чужий»;
- планування політик безпеки, протоколів зв'язку та методів шифрування каналів;
- аналітика та обробка великих масивів діагностичних даних, від координаційного рівня;
- видача команд агентам координаційного рівня;
- налаштування, оновлення, втручання в поведінку координаційних агентів, або прийняття рішення про обмеження агента, з метою подальшої заміни.

4.2 Перелік агентів в розробленій МАС

Кожен агент має набір правил та інструментів, тісно пов'язаних з його діями та цілями. Хоча агенти відрізняються поведінкою, все одно її можна обмежити загальними рамками. Кожен агент системи має свої власні комунікативні здібності. Спілкування між агентами здійснюється на рівні знань. База знань кожного агента реалізується за рахунок системи правил, списків термінів та семантики.

Мною запропонований концепт мультиагентної (рисунок 4.4) система передбачає наявність наступних типів агентів:

- агент генератору;
- агент метеостанції;
- агент енергоакумуючого обладнання;
- агент підстанції ліній електро передачі;
- агент управління мікромережею;
- агент підтримки локального зв'язку;
- агент диспетчеризації мікромережі;
- агент диспетчеризації глобального рівня;
- агент аналізу погодніх умов;
- агент управління енергопопитом;
- агент прогнозування потенційної потужності генерації;
- агент автоматичної діагностики та підтримки автономності мікромереж.

Агентний підхід розробки передбачає що у кожного із цих агентів є своя мета, своя поведінка та свої ресурси. Цю інформацію кожен агент повинен задекларувати під час реєстрації в системі для того, щоб усі поточні агенти отримали повну інформацію про новий пристрій.

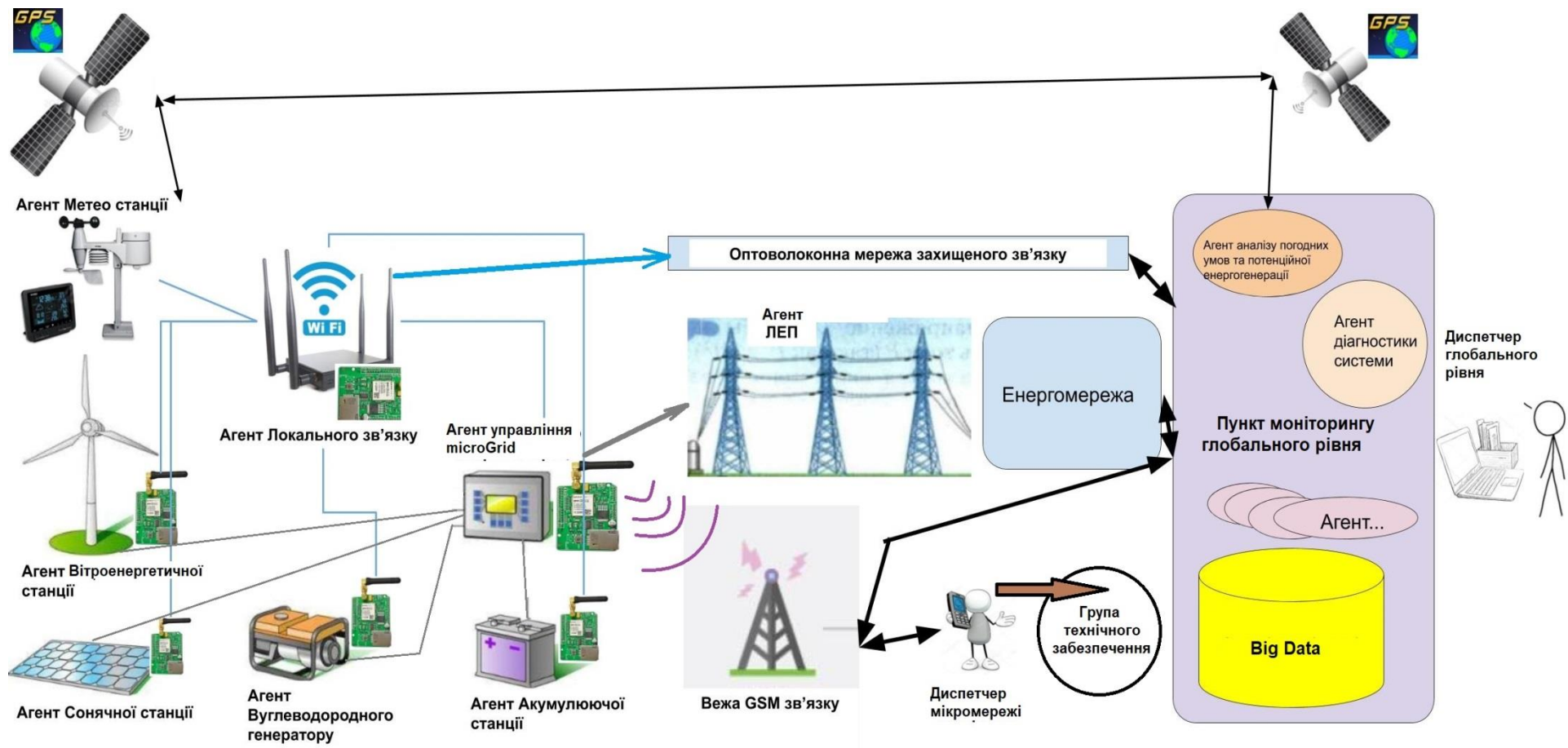


Рисунок 4.4. Концептуальна схема мультиагентної системи microGrid

4.3 Програмна реалізація продукту

Пакет програмного забезпечення розроблений з метою продемонструвати можливості платформи JADE у розробці MAC. JADE також використовується в якості середовища виконання, в якій працюють агенти, тим самим маскуючи від агентів основну складність операційної системи або мережі. Агенти можуть бути розгорнуті між декількома комп'ютерами або перебувати на одному комп'ютері. Однак для реалізації, код відправки та отримання повідомлень однаковий. Середовище виконання JADE, в свою чергу, виконується на віртуальній машині Java. Агент живе в контейнері, а набір контейнерів становить платформу. Платформа охоплює всі контейнери в агентській системі і, отже, може охоплювати кілька комп'ютерів.

На рисунку 4.5 графічно зображена структура розробленого пакету програмного забезпечення.

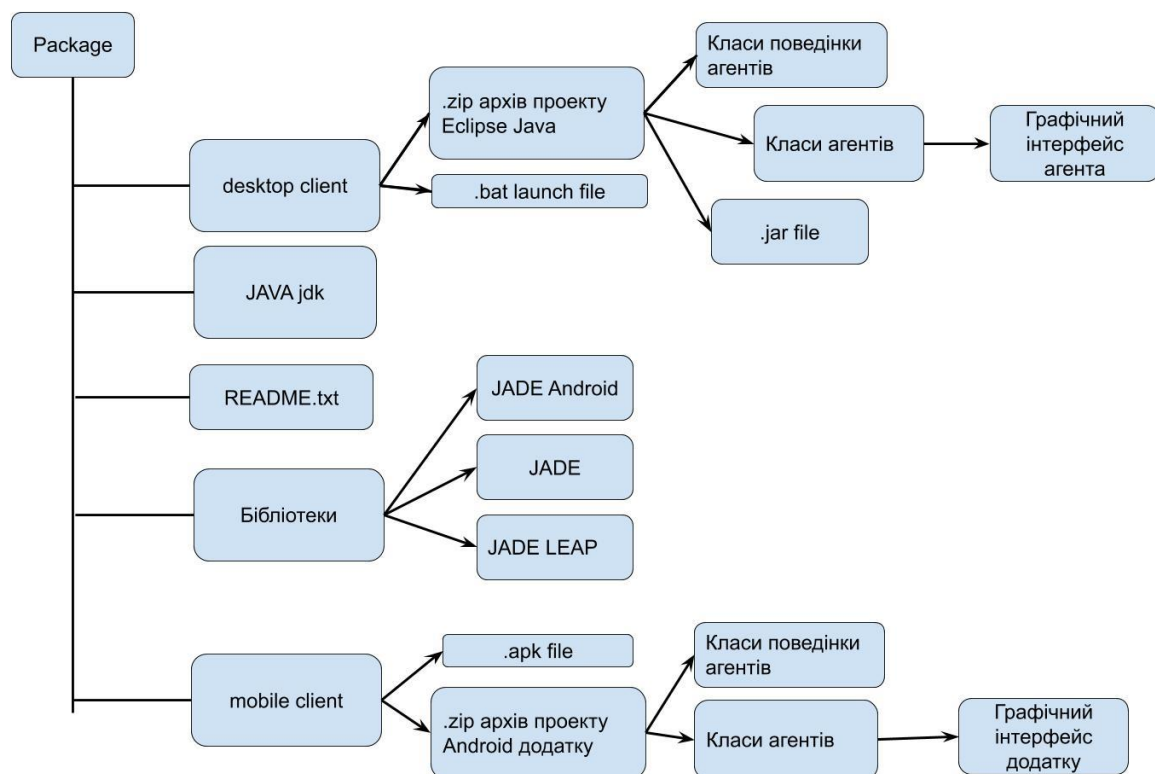


Рисунок 4.5. Вміст пакету розробленого програмного продукту

Пакет розробки складається з програмного модулю для ПК, мобільного додатку для Android смартфонів, набору бібліотек платформи JADE, інструкції

по встановленню та запуску розроблених агентів, та JDK на випадок, якщо ПК користувача не підтримує Java.

Десктопна версія програмного модулю представлена архівом проекту, написаного в студії розробки Eclipse, *.jar файлом збірки класів модулю та *.bat файлу, для запуску модулю на ПК під управлінням системи Windows.

Мобільний додаток є демонстрацією результату дослідження можливостей платформи JADE, як інструмента для розробки мобільних агентів. Додаток представлений архівом проекту, написаного в студії розробки мобільних додатків Android Studio, та *.apk файлом, який містить файли класів, поведінки мобільного агента та класів графічного дизайну. Додаток розроблявся для смартфонів під управлінням системи Android 9.0 та тестувався на моделі Sony Xperia 10.

4.4 Програмна реалізація агентів

Агенти, розроблені на платформі JADE, складаються з трьох основних рівнів: рівня обробки повідомлень, рівня поведінки та функціонального рівня. Порядок обробки агентом вхідного повідомлення зображений на рисунку 4.6.

Функціональний рівень характеризує основні функціональні атрибути, які представляють дії агента, які слід виконати. Поведінковий рівень забезпечує контроль, коли агент виконує певні завдання.

Рівень обробки повідомлень відповідає за відправку та отримання повідомлень від інших агентів, за реалізацію відповідної мови зв'язку агентів і онтологій.

Відправлення повідомлень здійснюється методом `send()` класу `Agent`. У цей метод потрібно передати об'єкт типу `ACLMessage`, який містить інформацію про одержувача, мову, кодування та вміст повідомлення. Ці повідомлення надсилаються асинхронно, тоді як отримані повідомлення зберігатимуться у черзі повідомлень. Існує два типи прийому ACL-повідомлень, з блокуванням або без блокування. Для цього запропоновані методи `blockingReceive()` та `receive()` відповідно. В обох методах можна зробити

фільтрування повідомлень, які потрібно отримати з черги, встановивши різні шаблони.

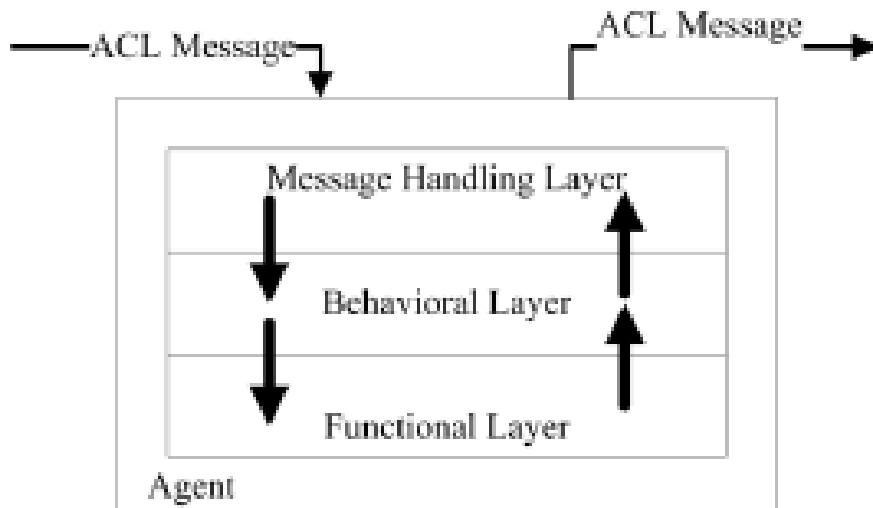


Рисунок 4.6. Процес обробки вхідного повідомлення агентом

В розробленій системі:

— Агент генератору оперує даними про потенційну потужність, яку він може постачати в мережу та може змінювати свою поточну потужність.

— Агент метеостанції знає поточний стан температурних умов та такі показники як: температура повітря, швидкість та напрям вітру, хмарність, тиск і т.д.

— Агент управління microGrid має ресурси та знання яким саме чином треба налаштувати конкретний генератор під поточні погодні умови таким чином аби максимізувати ефективність та мінімізувати витрати енергоресурсів.

Мобільний агент за допомоги GSM зв'язку може сповістити повідомленням диспетчера системи про відхилення від нормального стану системи та загрози виникнення поломки.

4.5 Порядок роботи користувача з системою

На рисунку 4.7 показано, як виглядає мультиагентна система після успішного старту мультиагентної платформи та реєстрації агентів. Головний

контейнер із агентами генератору, контролю та метеостанції запускається з комп'ютера та має свою host адресу.

В свою чергу мобільний агент запускається на телефоні та, за допомоги Wi-Fi зв'язку та мережевої інформації адреси головного контейнера, підключається та реєструє мобільний агент. Мобільний додаток може створювати кілька екземплярів мобільного агента. Усі вони будуть відображені в своєму контейнері (не в головному), бо головний контейнер створюється тільки під час запуску платформи JADE і запустити в ньому зовнішнього агента неможна.

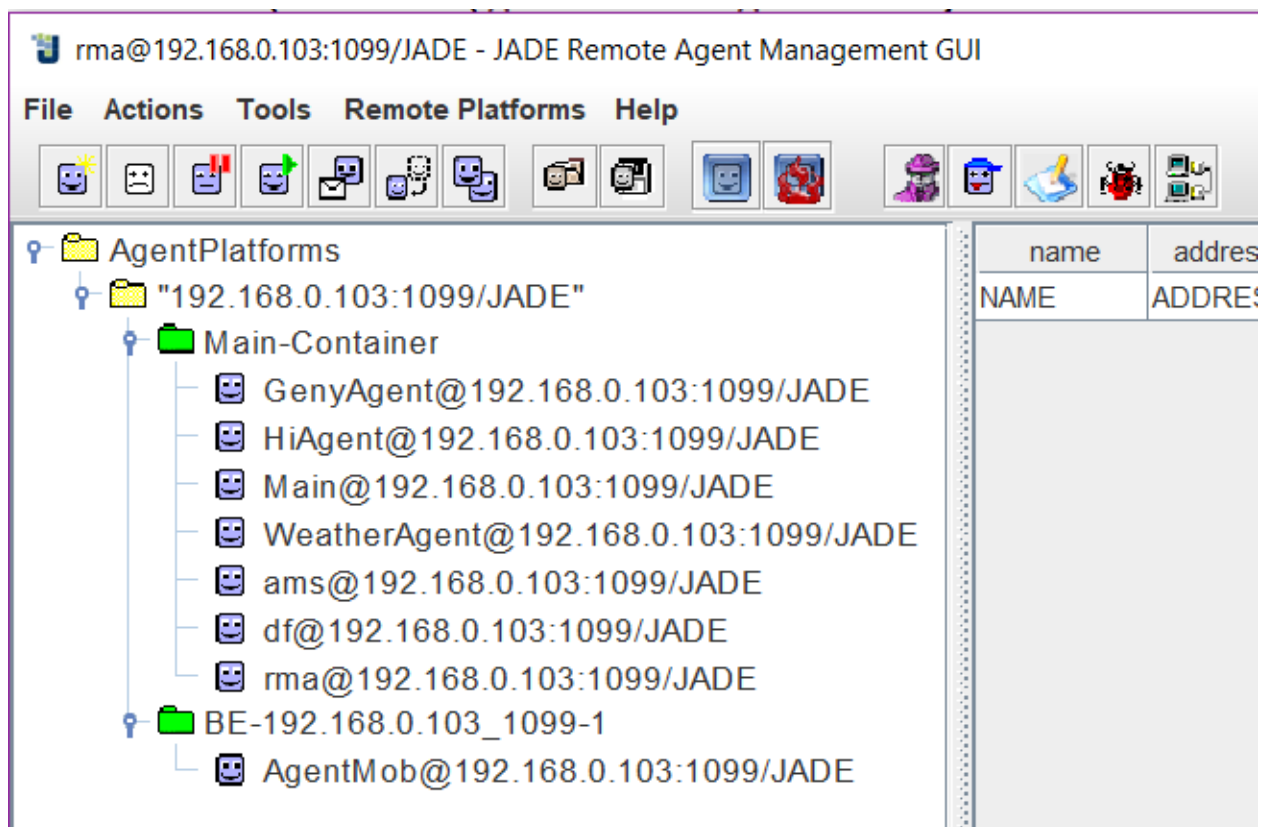


Рисунок 4.7. Стан мультиагентної системи та список активних агентів

Також хочу звернути увагу, що поточний стан системи можна побачити завдяки власним графічним інтерфейсам платформи JADE. Наприклад ілюстрація активних агентів, створення та видалення агентів можлива засобами графічного інтерфейсу JADE. Також користувач може переглянути поточний стан, дані, поведінку, життєвий цикл, та іншу діагностичну інформацію окремих агентів в MAC.

Після того, як агенти реєструються, вони починають діяти в системі відповідно до їх поведінки. Агент може ініціювати запит для отримання необхідних даних від інших агентів, може самостійно проінформувати іншого агента, відправивши дані, або виконувати власну логіку математичної моделі.

В даному випадку роздивимось приклад сценарію: агенту управління microGrid (Main agent) в якийсь момент часу необхідні актуальні дані погоди (рисунок 4.8). Ці дані відомі агенту метеостанції (WeatherAgent). Тому агент управління microGrid ініціює сценарій запитом на отримання інформації. Агент погоди, якщо вільний, отримує запит та відповідає на нього.

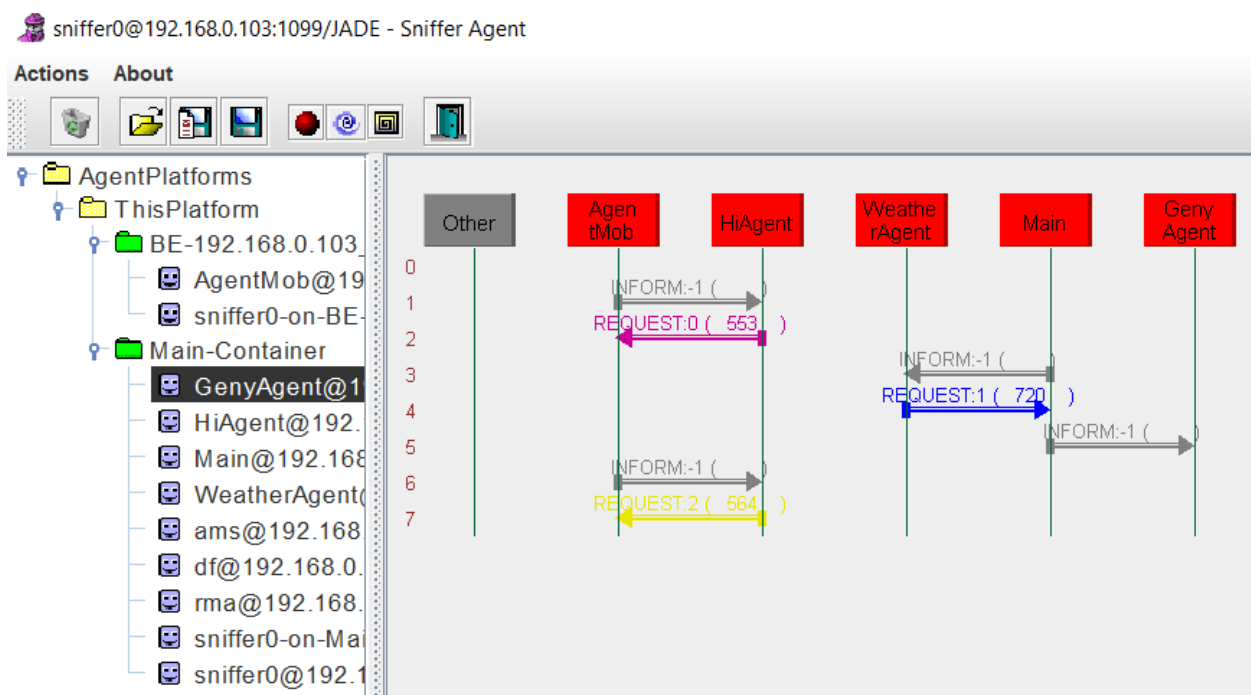


Рисунок 4.8. Діаграма взаємодії агентів між собою

У відповідь WeatherAgent інформує агенту управління microGrid про поточний станом погоди. Агенту управління microGrid, отримавши дані, перераховує за власною математичною моделлю значення погоди в необхідний рівень потужності для генераторів, щоб тримати задану потужність максимально енергоефективно. Результатом виконання обчислень – є висновок агента о необхідності змінити поточну потужність генератору: або зменшити, або збільшити. Далі агенту управління microGrid відсилає агенту генератору (GenyAgent) повідомлення з інструкцією-висновком. Генератор отримує

повідомлення, та відповідно до інструкції змінює свій стан поточної потужності. Окрім цього мобільний агент спілкується із іншим агентом, незалежно від поведінки інших агентів. Наприклад він посилає запит або навпаки інформує диспетчера.

Знов таки, засоби платформи JADE дозволяють створити екземпляр агента sniffer, для того, щоб слухати яким ж саме чином спілкуються агенти між собою в мережі. Інструментарій надає зручний інтерфейс управління та діагностики системи.

Діаграма дозволяє побачити загальну картину передачі повідомлень між агентами у часі. А також класифікувати повідомлення за їх типом, та навіть отримати детальну інформацію про зміст повідомлення, від кого, та кому це повідомлення надходить (рисунок 4.9).

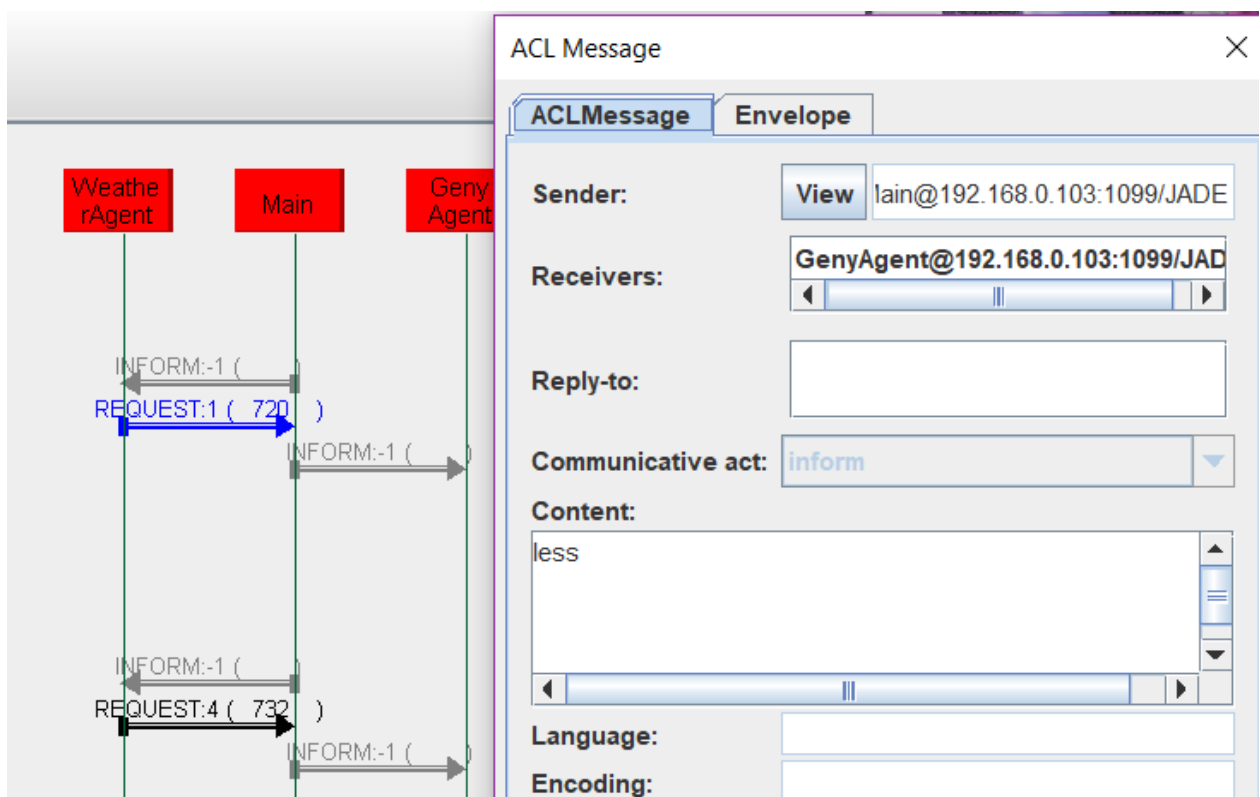


Рисунок 4.9. Інформаційне вікно перегляду змісту повідомлення

В даному випадку видно, що від агента управління microGrid до агенту генератора було надіслано повідомлення “less”, що означає зменшити потужність генератора.

4.6 Опис моделі поведінки агента координаційного рівня

Мультиагентна система в цілому не має якогось одного центру прийняття рішень або одного чіткого алгоритму дій на виконання головних функцій або робіт. Через серйозність наслідків помилок в роботі системи процес управління не передається повністю системі, тому неможна виключати можливість людського втручання та безпосереднього «ручного» управління системою кваліфікованим диспетчером. Саме тому в системі пропонується наявність проміжних агентів диспетчерського контролю, задачею яких є сповіщення диспетчерів локального чи глобального рівня в разі виникнення аварійних ситуацій.

Роздивимось модель поведінки агента управління microGrid у разі вирішення задачі збалансування різних типів генерації електроенергії (рисунок 4.10).

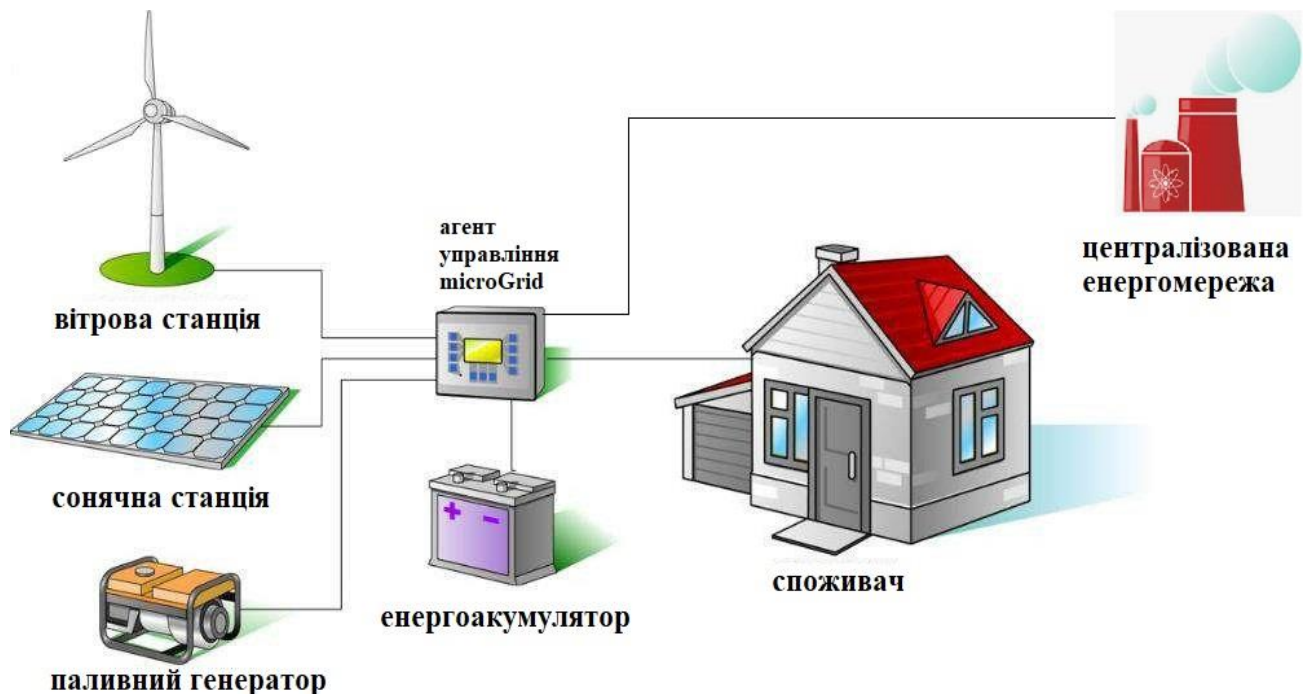


Рисунок 4.10. Схема мікромережі в задачі управління генерацією

В даному випадку головною метою агента стає: тримати необхідний рівень вихідної напруги, при цьому максимально вигідним для користувача способом. Вигідним може вважатись або варіант з мінімальними викидами парникових газів, або той, що дає можливість більше заощадити ресурсів під

час роботи. Припустимо, що споживач має наступну схему генерації електроенергії.

Споживачу доступні три типи генерації енергії:

— вітрова електростанція. Її поточна ефективність залежить від погодних умов, таких як: швидкість вітру або вологість повітря.

— сонячна електростанція. Її поточна ефективність залежить від погодних та інших умов, таких як: пори року, географічного розташування. Окрім цього, потужність станції є непостійною упродовж дня, і залежить від хмарності неба (рисунок 4.11).

— паливний електрогенератор. Його ефективність залежить від типу палива та власного ККД.

Також споживач під'єднаний до централізованої мережі енергопостачання.

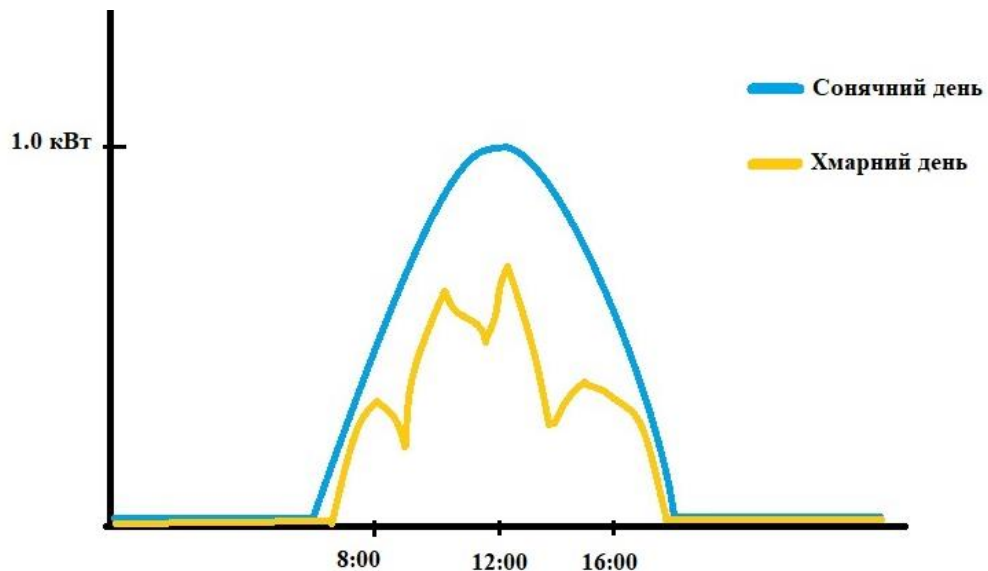


Рисунок 4.11. Мінливість потужності сонячного генератора

Кожен із типів генерації має максимальну потужність, тому припустимо, що графік попиту споживача не може бути забезпеченим повноцінно одним типом генерації, окрім купівлі енергії із мережі за ринковою вартістю.

Згідно з концепцією Smart Grid, споживач не обов'язково постійно тільки споживає енергію із централізованої енергомережі. Надлишок власної генерованої енергії споживач може продавати за «зеленим» тарифом, тим

самим не витрачати кошти, а навпаки – заробляти. Припустимо, що система споживача ускладнена енергоакумуючим обладнанням. Тобто, в разі потреби, надлишок генерації може накопичуватись, та використовуватись у разі нестачі енергії, без підвищення потужності генератора, і як наслідок – витрат на паливо.

Поведінка агента управління microGrid має наступну конкретну ціль: балансувати різними типами генерації таким чином, аби мінімізувати витрати коштів на купівлю палива та енергії з мережі. Інтелектуальність моделі поведінки агента управління microGrid полягає в наявності списку фактів та обмежуючих правил поведінки в процесі прийняття рішень. В таблиці 4.1 наведені, розроблені мною правила та факти, які формують інтелект агента управління мікромережею.

Таблиця 4.1. Правила поведінки агента управління microGrid

Умова	Дія або наслідок
Якщо зараз нічний час	Тоді $P(\text{Sun})=0$, і очікувати на приріст потужності від сонячної станції до сходу сонця немає сенсу
Якщо зараз денний час	Тоді поточна $P(\text{Sun}+\text{Wind})=\max$, і ця потужність залежить від погодних умов та може бути прогнозована шляхом аналізу прогнозу погоди
Якщо поточний попит більше $P(\text{Sun} + \text{Wind})$	Недостачу енергії намагаємось компенсувати за рахунок розрядки акумулятора.
Якщо заряд акумулятора менше за порогове значення (наприклад 20% від повного заряду)	Перевіряємо, чи зможе паливний генератор задовольнити поточні потреби споживача

Таблиця 4.1 (Продовження)

Умова	Дія або наслідок
Якщо паливного генератора буде достатньо	Тримати $P(\text{Oil})$ на достатньому рівні, аби не тільки задовольняти попит, а і заряджати акумулятор. Виключити паливний генератор після повної зарядки акумулятора.
Якщо паливного генератора не буде достатньо	Проаналізувати що доцільніше: включити генератор на повну потужність та недостащу покрити за рахунок купівлі енергії в централізованій мережі за поточним тарифом, чи не включати генератор та повністю покривати недостащу потужності за рахунок централізованої мережі. Результат аналізу може залежати від специфіки тарифів на електроенергію, графіку попиту споживача і т.д.
Якщо поточний попит менше $P(\text{Sun} + \text{Wind})$	Надлишок енергії подати в централізовану мережу та продати її за «зеленим» тарифом
Якщо вночі акумулятор розряджений	Зарядити батареї від централізованої мережі за меншими тарифами, ніж удень.
Якщо тривалий час немає взагалі попиту, або система знає, що попиту не буде протягом наступних днів (режим роботи, заданий користувачем)	Вдень продавати усю $P(\text{Wind} + \text{Sun})$ та увесь заряд акумулятора. Вночі заряджати акумулятор за рахунок $P(\text{Wind})$ та купуючи енергію за нічним тарифом (якщо на те є потреба)

Де $P(\text{Sun})$, $P(\text{Wind})$, $P(\text{Oil})$ – це умовне позначення потужностей сонячного, вітрового та паливного генераторів.

Окрім основних робіт, агенти між собою здійснюють обмін повідомленнями (рисунок 4.12).

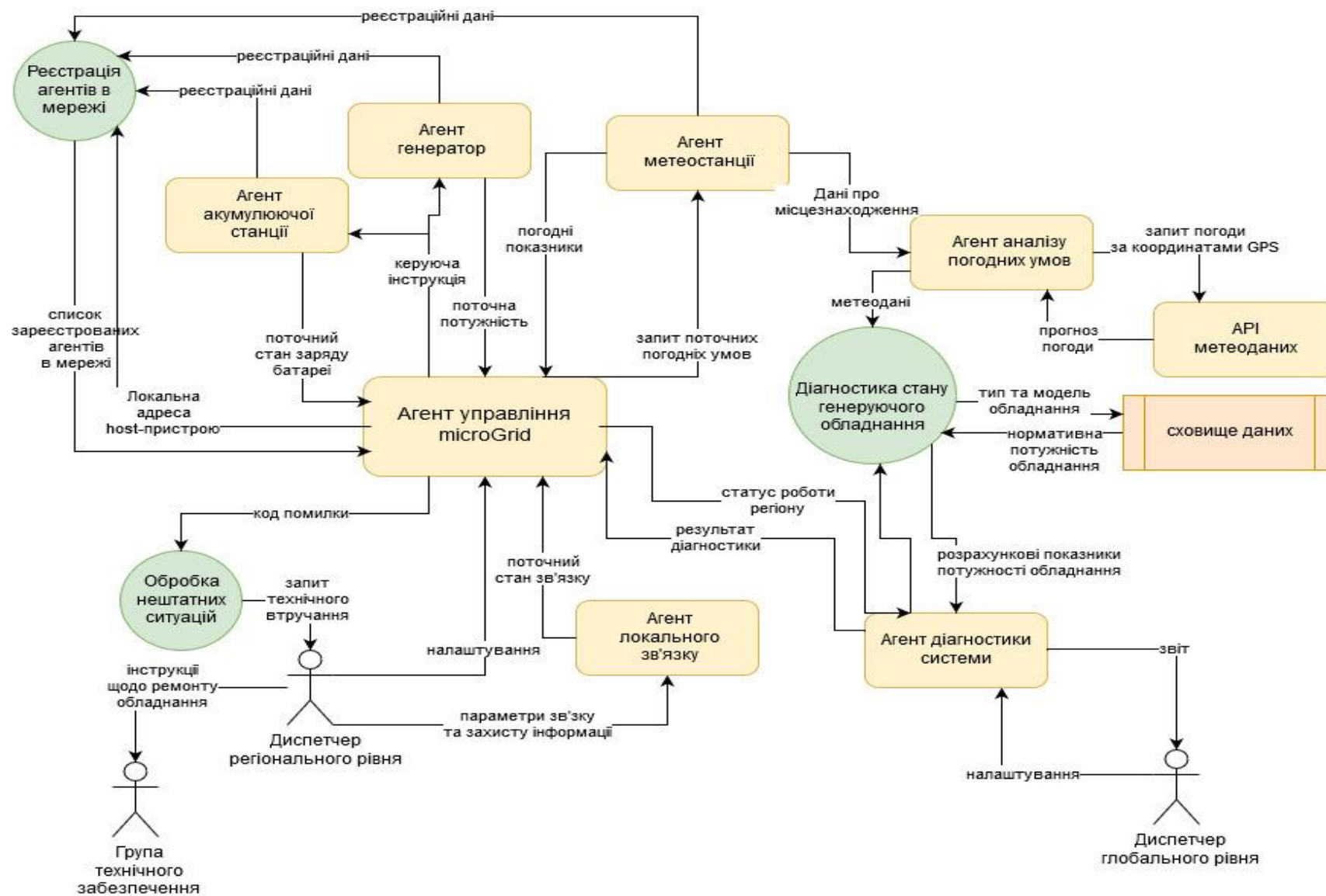


Рисунок 4.12. DFD діаграма запропонованої мультиагентної системи управління microGrid

Агент управління microGrid спілкується з іншими агентами шляхом надання іншим агентам керуючих інструкцій, або запитів на отримання інформації. Керуючими інструкціями можуть бути наприклад: повідомлення для акумулятора про необхідність заряджатись чи розряджатись, або яку робочу напругу необхідно тримати генератору. Агенти регіонального рівня повідомлять агента управління microGrid про свій поточний стан.

В процесі еволюції система може прийти в такий стан, коли кожен з реактивних агентів мікромережі здатен приймати правильні рішення щодо своїх подальших дій в системі без керуючих інструкцій від агента управління microGrid. В цьому і є одна з переваг агентного підходу до розробки систем. Якщо агент акумулятора матиме достатню кількість обчислювальних ресурсів, то він може і самостійно приймати рішення в якому випадку йому розряджатись, а коли заряджатись, спілкуючись із іншими агентами системи напряму.

4.6.1 Сценарій діагностики стану генеруючого обладнання

Із часом обладнання старішає та механізми зношуються і їх ефективність та роботоздатність відрізняється від нормативних. Аби забезпечити достовірність аналітичних даних необхідно регулярно проводити діагностику наявного обладнання на предмет відхилень від нормального стану роботи. Результати подібних діагностик необхідні для того щоб робити поправку в обчисленнях на відоме відхилення (дельту). Якщо в результаті діагностики виявили значне відхилення значень від норми – це може свідчити про наявність технічних несправностей обладнання та необхідність проведення ремонту або заміни з метою запобігання виникненню аварійних ситуацій на підприємстві.

Процес діагностики може бути ініційований відповідним агентом на глобальному рівні в процесі моніторингу та аналізу потоку статистичних даних від агенту управління microGrid, у випадку різкої або неочікуваної зміни показників регіону в цілому. Окрім цього планові діагностики необхідно ініціювати за визначеним розкладом, або непланові – за запитом диспетчера глобального рівня.

Розглянемо приклад сценарію проведення подібної діагностики. Припустимо на регіональному рівні до енергомережі під'єднана вітрова станція, в програмній системі їй відповідає екземпляр агенту генерації. Цьому агенту відома деяка специфічна інформація про обладнання: дата останнього ремонту, рік введення в експлуатацію, кількість системних відмов, або час простою. Метою цього агента є сповіщення про поточний рівень потужності генератора. У цей ж час, на глобальному рівні існує єдина база даних, в якій міститься нормативна (паспортна) інформація про те, який рівень потужності має забезпечувати конкретна модель генератора за конкретних погодних умов. Також в системі присутній агент діагностики, який за планом ініціює процес діагностики регіону. В перевірці задіяний також агент аналізу погодних умов. Його задача: зв'язатися із регіональною метеостанцією, отримати дані про поточну місцеву погоду, або за GPS координатами станції зробити запит до метеорологічного API (наприклад Гізметео). Отримана метеорологічна інформація використовується при розрахунку поточної нормованої потужності регіону. Далі агент діагностики порівнює цю потужність із фактичною, яка надійшла від агента управління microGrid. Якщо відхилення значень незначне – це означає, що обладнання справне. Якщо відхилення більше за допустимий відсоток, тоді агент діагностики в залежності від власного поточного навантаження може або просто сповістити агент управління microGrid про невідповідність реальної потужності обладнання до розрахункової, або провести аналогічні дії з діагностики, але вже по кожному елементу регіональної підсистеми. В нашому випадку – перевірити конкретну вітрову станцію. У разі підтвердження зниження потужності, агент управління microGrid буде повідомлений про поломку обладнання та необхідність стабілізації системи.

4.6.2 Сценарій обробки аварійних ситуацій

Припустимо, що в локальній мікромережі є перебої зі зв'язком, або трапився збій в роботі одного з агентів нижнього рівня. Агенту управління microGrid відомо про це, однак він не в змозі самотійно вирішити цю

проблему, або вирішення проблеми потребує погодження із диспетчером. В цьому випадку від агента управління microGrid очікується, що він власними засобами здатен проаналізувати ситуацію та зробити припущення про причини поломки та надати запит диспетчеру регіонального рівня. В цьому запиті бажано, щоб була інформація про характер несправності, час, місцезнаходження та тип обладнання із яким немає зв'язку, або є підозра про несправність. Також є доцільним, якщо агент управління microGrid надасть власні рекомендації щодо вирішення проблеми. Після того, як диспетчер отримує запит, у разі програмної несправності, може в ручному режимі внести зміни в налаштуваннях системи, або дати прямі керуючі інструкції обладнанню. Якщо несправність є апаратною, тобто обладнання було пошкоджене фізично, диспетчер надає відповідні інструкції групі технічного забезпечення щодо ремонту несправного обладнання.

Висновки до розділу

Наведені сценарії демонструють практичну користь від організації інтелектуального управління мікромережами в масштабі однієї microGrid споживача. Тобто використання подібної МАС є перспективним окремим споживачам, що мають можливість генерувати чи накопичувати електроенергію.

Описано яким чином розроблені агенти реактивного рівня здійснюють завантаження, та комунікацію із агентом координаційного рівня.

В якості подальшого розвитку продукту доцільним є дослідження та моделювання поведінки реальних енергомереж, розробка стратегій розподіленого управління енергоспоживанням. Також перспективними шляхами розвитку можуть стати розробки моделей систем самовідновлення мікромереж для забезпечення адаптивного управління.

5. СТВОРЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап має на меті створення консалтингової фірми надання інтелектуальних послуг з розробки проекту, розгортання microGrid для конкретної локації фірми замовника. Основна ідея проекту наведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Надання інтелектуальних послуг з розробки проекту microGrid для конкретної локації підприємства клієнта. Розробка ПЗ, інсталяція, налагодження МАС. Супровід та ре конфігурація системи управління за потреби клієнта.	Підприємство-споживач електричної енергії	Кращі показники енергоефективності, зниження витрат на купівлю енергії з централізованої мережі. Зменшення витрат на обслуговуючий персонал, автоматизація підприємства. З'являється можливість самодіагностики та саморегуляції.
	Постачальники обладнання для відновлювальної енергетики	Зростання попиту на продукцію

Такий підхід дає можливість надати повний спектр послуг користувачу.

Проведений аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

— визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

— визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та зібрана інформація, щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів;

— проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначені показники, що мають гірші, аналогічні та кращі значення значення (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2. Сильні, слабкі та нейтральні характеристики ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			Слабка	Нейтральна	Сильна
	Мій проект	Конкурент1	Конкурент2			
Інтелектуальне встановлення оптимального режиму роботи електрообладнання	Має	Немає	Немає	-	-	+
Енергоефективність	Має	Немає	Немає	-	-	+
Безвідмовна робота	Має	Має	Має	+	-	-
Гнучке налаштування режимів роботи системи	Має	Немає	Має	-	+	-
Інформаційна безпека	Має	Має	Немає	-	+	-
Екологічність генерації з відновлюваних джерел	Має	Має	Немає	-	-	+
Автоматична диспетчеризація	Має	Немає	Немає	-	-	+
Здатність до саморегуляції системи	Має	Немає	Немає	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї та потенційних послуг, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.1 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі проведений аудит способу, за допомогою якого можна реалізувати ідею проекту та наведено його у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Захист інформації	Розробити системи захисту від злому облікових записів, систему шифрування потоків даних між компонентами системи	+	+
Надання інтелектуальних послуг з розробки проекту microGrid для конкретної локації підприємства клієнта.	Технологія microGrid (розподіленої генерації в електроенергетиці)	+	+
Розробка ПЗ, інсталяція, налагодження МАС.	Платформа розробки мультиагентних систем(JADE), агентноорієнтований підхід до розробки ПЗ, алгоритми штучного інтелекту, машинне навчання	+	+
Супровід та ре конфігурація системи управління за потреби клієнта.	Розробка веб-сайту сервісу, додатку для ОС Windows, мобільного додатку для ОС Android	+	+

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, та методи реалізації є можливими.

5.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Основними операторами ринку є державні енергокомпанії, які виконують роботу тільки на власних підприємствах. Результати аналізу характеристик ринку наведений в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	2
2.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
4.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідно забезпечити ліцензування мультиагентної системи

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням. Запропонований проект передбачає співпрацю з клієнтом згідно його вимог, з захистом інтелектуальної власності клієнта. Виконана робота на вимогу клієнта не розголошуватиметься. Споживча поведінка клієнтів на даний момент набуває великого значення для старту проекту, оскільки від репутації нашої компанії залежить довіра потенційних покупців. Саме тому окрім рекламування наших послуг в соціальних мережах та інтернеті необхідно підтримувати репутацію. Насамперед це можна забезпечити високою якістю виконаних послуг для клієнтів, внаслідок чого можлива довгострокова співпраця з декількома клієнтами.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Результати наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці потенційних клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Зниження витрат на електроенергію з централізованої мережі, раціоналізація режиму електроспоживання	Підприємство-споживач електричної енергії(особливо географічно ізольовані та віддалені від потужної мережі енергопостачання)	Необхідність дотримуватись диспетчерської дисципліни централізованих мереж енергопостачання	Надійність, безпека протоколів зв'язку між агентами МАС, Економічна ефективність, автономність управління системою.
Збут обладнання для енергозбереження і енергоефективності	Постачальники обладнання для відновлювальної енергетики	Необхідність постачання продукції у відповідності до різних норм та стандартів у тому числі з екології	Малий період окупності проекту, широка аудиторія потенційних користувачів

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту (таблиця 5.6), та факторів, що йому перешкоджають (таблиця 5.7). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення їх значущості.

Таблиця 5.6. Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
Прибуток	Отримання прибутку	Створення внутрішніх стабілізаційних фондів розвитку
Новий ринок	Фактично відсутність конкурентів	Вклад коштів в рекламу підприємства

Таблиця 5.6 (Продовження)

Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
Розвиток концепції Smart Grid на державному рівні	Заохочувальні заходи для споживачів з боку держави для переходу на нову концепцію	Отримання коштів від держави на розвиток
Досягнення автономності в роботі системи	МАС самостійно здатна приймати правильні рішення мінімізуючи втручання людини в роботу мережі	Підвищення вартості послуг
Зростання цін на енергоресурси	Більше економії коштів для клієнта, за рахунок інтелектуального управління	Зміна акцентів в рекламуванні послуг з метою популяризації бренду
Великий попит на послуги супроводу реалізованих власних проектів	Зростання кількості постійних клієнтів	Розширення підприємства за рахунок найму нових співробітників для супроводу проектів

Таблиця 5.7. Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Низький стартовий капітал	Проблеми з отримання стартового грошового капіталу, особливо на початковій стадії реалізацій проектів	Залучення інвесторів, отримання грантів або кредитів від енергокомпаній
Конкуренція з боку великих енергокомпаній	Недостатньо велика кількість користувачів, монополія основних гравців ринку	Реклама для збільшення аудиторії користувачів
Специфічність клієнтських проектів	Детальна розробка проекту для клієнта може зайняти неочікувано багато ресурсів Можливі непередбачені проблеми	В індивідуальному порядку домовлятися із клієнтами про строки та бюджет проектів

Таблиця 5.7 (Продовження)

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Нестабільна політична ситуація (у питаннях енергетики)	Важко передбачити зміст нових законів та регулювання тарифів на електроенергію	Грамотно розраховувати політику ціноутворення із врахуванням політичної ситуації в країні
Корупція та тиск на бізнес з боку конкурентів	Ризик втрати підприємства внаслідок рейдерства, втрата коштів та капіталу бізнеса	Встановлення засобів відео фіксації, сигналізації та передбачення виплат на охорону
Безпека передачі повідомлень в МАС	Шахраї можуть отримати доступ до енергоінфраструктури клієнта	Розробити свій протокол шифрування зв'язку між агентами МАС
Не прогнозованість системи	Система повинна демонструвати прогнозовану поведінку на нештатні ситуації в роботі обладнання	Передбачити більше часу на процес тестування штучного інтелекту та алгоритмів прийняття рішень
Промисловий шпіонаж	Інші компанії зажавають отримати собі інформаційні технології з метою створення аналогів ПЗ	Захист інтелектуальної власності за рахунок патентів

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: монополістична конкуренція	Існує 2 компанії, які повністю контролюють ринок енергопостачання	Переговори із монополістами на ринку та залучення їх уваги з метою подальшого вигідного продажу або інтеграції бізнесу
2. За рівнем конкурентної боротьби – національний	В розробці нових проектів зацікавлена більшість національних підприємств	Відбір клієнтів із схожими умовами до створення проектів

Таблиця 5.8 (Продовження)

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Можлива конкуренція між інноваційними системи Smart Grid та місцевими житлово-комунальними підприємствами	Зміна галузі застосування МАС на базі microGrid з енергетики на інші
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Можлива конкуренція між іншими системами енергозбереження	Необхідно вкладати більше коштів в розробку кращого ПЗ та алгоритмів управління й оптимізації ніж у конкурентів
5. За характером конкурентних переваг – цінова та нецінова	Цінова – зробити вартість обслуговування системи дешевшою ніж у конкурентів Нецінова – полягає в професійності послуг	В процесі уніфікації проектів та зменшення складності їх розробки досягти зменшення ринкової ціни проекту.
6. За інтенсивністю – не марочна	Конкуренція за надання послуг управління енергоспоживанням	Комплекс заходів для підвищення популярності бренду компанії

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (таблиця 5.9).

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (таблиця 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 5.1), вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища (таблиці 5.6, 5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведений в таблиці. 5.10.

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
Складові аналізу	Енергетичні компанії ДЕТЕК, НАЕК «Енергоатом», ЦЕК	Будь яка ІТ компанія, яка почне розвиток у сторону концепції Smart Grid	Залежність від постачальників обладнання є невеликою.	В умовах віддаленості від централізованих мереж енергопостачання мають високий рівень чутливості до зміни цін на електроенергію	Ідея полягає в наданні нових послуг з розробки проектів microGrid
Висновки	Низька інтенсивність конкурентної боротьби	Існують потенційні конкуренти Строки виходу їх на ринок 8-14 місяців	Низькі ризики затримок строків реалізації проектів, однак є залежність від вартості комплектуючого обладнання	Клієнт зацікавлений в якомого більший енергоефективності та кращій окупності проектів	Комплекс послуг є повноцінним, тому послуги замітники не розглядаються

Висновок: За умови домовленості з керуючими енергокомпаніями, проект буде конкурентоспроможним.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники значущості)
1.	Індивідуальний підхід до надання послуг з розробки проектів	Відповідно до специфіки місцезнаходження, переліку наявного обладнання конкретного підприємства-споживача розробляються варіанти проектів microGrid систем, які б в повному обсязі задовольняли потреби клієнта.
2.	Іноваційна система управління енергообладнанням	За рахунок використання штучного інтелекту та концепції МАС в розробці програмного забезпечення для microGrid проектів, досягається значна раціоналізація використання енергоресурсів. Також можливе зменшення викидів парникових газів у атмосферу. Дотримання екологічних норм ЄС позитивно відображається на залученні іноземних інвестицій.

Таблиця 5.10. (Продовження)

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники значущості)
3.	Досягнення автоматичної диспетчеризації	Експлуатація системи позбавляє підприємця необхідності утримувати великий штат кваліфікованих кадрів енергетичної галузі. Деталізовані прогнози, які надходять до мобільного пристрою дозволяють оцінити втрати і надходження і віддалено моніторити роботу енергообладнання

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 5.11).

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг у порівнянні з конкурентами
1.	Індивідуальний підхід до надання послуг з розробки проектів	+1
2.	Іноваційна система управління енергообладнанням	+3
3.	Досягнення автоматичної диспетчеризації	+2

Загальний рейтинг факторів у порівнянні з конкурентами: +6.

Результати попередніх аналізів узагальнюються в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p><u>Сильні сторони:</u></p> <p>Іноваційна система управління енергообладнанням</p> <p>Досягнення автоматичної диспетчеризації</p> <p>Адаптивний інтерфейс управління системою для мобільних пристроїв</p> <p>Малі терміни окупності вкладених коштів</p> <p>Прибуток за рахунок довгострокового супроводу власних проектів</p>	<p><u>Слабкі сторони:</u></p> <p>Успішність пов'язана з репутацією підприємства</p> <p>Важко спрогнозувати популярність проекту</p> <p>Конкуренція на ринку з боку монополістів енергетичної галузі</p>
---	--

Таблиця 5.12 (Продовження)

<u>Можливості:</u> Потенційна прибутковість Новаторство на ринку Розвиток концепції Smart Grid на державному рівні Зростання цін на енергоресурси Зростання попиту на власні послуги серед підприємств малого та середнього бізнесу	<u>Загрози:</u> Низький рівень стартового капіталу Нестабільна політична ситуація Корупція та тиск з боку конкурентів Промисловий шпіднаж
---	--

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 5.13).

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Пришвидження процесу розробки. Залучення консалтингових компаній, юристів, стороння розробка сервісів	Потребує значного інвестування ресурсів, зростання витрат. Залучення значних обсягів фінансування на початковому етапі малоімовірне	8-10 місяців
Розробка проекту власними силами на початковому етапі	Варіант потребує меншого обсягу фінансування, тому ймовірність суттєва	12-15 місяців

Після аналізу було обрано другий варіант, де отримання ресурсів є більш простим та ймовірним.

5.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, тобто опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 5.14).

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Складність входу у сегмент
1.	Споживачі електричної енергії – фізичні особи, власники малих господарств, фермери	Висока	Високий	Низька	Низька
2.	Споживачі електричної енергії – малі приватні промислові підприємства	Середня	Середній	Низька	Низька
3.	Споживачі електричної енергії – великі промислові підприємства	Висока	Низький	Середня	Середня

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (таблиця 5.15).

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Стратегія наступника	Ринок потреб одного цільового сегменту енергетики	Надання індивідуальних консалтингових послуг з розробки проектів для клієнта-споживача	Стратегія спеціалізації

В якості базової стратегії було обрано стратегію спеціалізації. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.16).

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так, на території України проект є новим для малих та середніх підприємств	Так, в планах є розширення спектру послуг та нових споживачів	Так. Такі як ціна послуг аудиту та розробки проекту, маркетингова політика та рекламні технології	Стратегія виклику лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.16) розробляється стратегії позиціонування (таблиця 5.17), що полягають у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торговельну проект.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1.	Якість наданих послуг	Стратегія спеціалізації	Індивідуальний підхід до розробки проектів microGrid	Економія, енергетична безпека, прогнозованість, самоуправління, автономність
2.	Низький термін окупності	Стратегія спеціалізації	Економічна ефективність	

5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Автоматична диспетчеризація системи	Зменшення видатків на кваліфіковані кадри диспетчеризації, моніторингу та ремонту обладнання	-Простота освоєння -Мала участь в управлінні користувача системи -Мобільність -Автономність системи -Масштабованість проєктів -Еволюція в процесі використання -Екологічність
2.	Мобільність управління системою і прийняття рішень	Можливість управління з власного смартфона	
3.	Покращення стабільності управління енерговикористанням	Раціоналізація систем управління локальною енергоінфраструктурою за рахунок роботи штучного інтелекту	

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання. Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 5.19.

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Послуга за задумом	Кваліфікований аутсорсинг, модернізація виробництва, зменшення витрат на купівлю електроенергії з централізованої мережі

Таблиця 5.19 (Продовження)

Рівні товару	Сутність та складові
2. Послуга у реальному виконанні	<p>Властивості</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Економічності: зниження витрат на обслуговування та ремонт обладнання. Вирішення питань утилізації сировини для генерації енергії; 2. Технологічні: оптимізація витрат ресурсів часу та капіталу. 3. Ергономічність: доступність управління з мобільного пристрою; 4. Безпека: зменшення фактору людської помилки на етапі диспетчеризації; 5. Екологічність: зменшення рівня викидів вуглецю за рахунок активного впровадження генераторів на базі відновлювальних джерел енергії.
	Якість: розробка проектів відповідно до стандартів МЕК/ІЕС, ІЕЕЕ, ІСО та інші.
	Документація: має логотип компанії. Облік та ведення відповідно до вимог захисту комерційної таємниці.
	Марка: Innovative microGrid systems
3. Послуга із підкріпленням	До продажу: представлення клієнту майбутнього проекту microGrid з урахуванням індивідуальної специфіки підприємства
	Після продажу: гарантійні консультації, супровід системи управління, вирішення питань оновлення та еволюції програмного забезпечення
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: використання власних запатентованих алгоритмів управління, прийняття рішень та штучного інтелекту. Застосування методів обфускації програмного забезпечення.	

Захист буде організовано за рахунок захисту ідей алгоритмів управління у патентному відомстві. Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5. 20).

Таблиця 5.20. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Замовлення проекту microGrid	Збут здійснюється власними силами	Однорівневий канал або нульового рівня	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами. Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньообрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 5.21).

Таблиця 5.21. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Представник підприємства-споживача електроенергії	Прямі зустрічі	Переговори	Домовитись про розробку, впровадження та супровід проекту microGrid та програмного забезпечення системи управління	Переконати в мінімізації витрат при мінімальній участі в використанні системи

Висновки до розділу

Відповідно до проведеного аналізу перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту поява даного проекту є актуальною так як на ринку мала кількість компаній яка надає подібний спектр послуг.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних інформаційних систем моделювання та управління енергетичною інфраструктурою виявив їх недоліки щодо забезпечення надійності, стійкості та адаптивності при зміні зовнішніх умов та дозволив сформулювати вимоги до розробки нових засобів підтримки прийняття рішень на етапах генерування, передачі та споживання енергії.

2. Дослідження методів та засобів управління енергетичною інфраструктурою сучасних інформаційних систем дозволило виявити неможливість реалізації повної автоматизації технологічного процесу. Аналіз технологічного базису концепції Smart Grid дозволив сформулювати підходи до сценаріїв поведінки елементів системи.

3. Застосування агентного підходу до формування систем управління енергетичною інфраструктурою дозволяє забезпечити високу адаптивність до зміни зовнішніх умов, що відкриває можливість повної автоматизації технологічних процесів.

4. Застосування мультиагентної платформи JADE дозволило провести моделювання процесів міжагентної взаємодії елементів енергетичної інфраструктури, а експорт коду на автономні апаратні платформи дозволив створити мультиплатформенний апаратно-програмний комплекс мультиагентної системи.

5. Моделювання міжагентної взаємодії на апаратно-програмному комплексі дозволило відпрацювати сценарії міжагентної взаємодії.

6. Реалізація дворівневої архітектури мультиагентної системи дозволяє ефективно розподілити функціонал між реактивними та BDI агентами для забезпечення з однієї сторони високої швидкодії системи, з іншої – реалізації складних алгоритмів управління.

Рекомендації, щодо подальших досліджень:

- доопрацювати сценарії поведінки існуючих елементів системи та розширити їх функціональність, наприклад, в напрямку діагностування технічного стану обладнання;
- розширити номенклатуру реактивних агентів енергетичної інфраструктури;
- розширити номенклатуру інтелектуальних агентів BDI архітектури з застосуванням бази знань на основі онтологій;
- доопрацювати протоколи міжагентної взаємодії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future». // European Commission Directorate. – 2006.
2. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency. // Paris. – 2009. – С. 691.
3. “GRID 2030” A national vision for electricity's second 100 years [Електронний ресурс] // United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <https://ferc.gov/eventcalendar/Files/20050608125055-grid-2030.pdf>.
4. Gabriel M. A. Visions for a sustainable energy future / Gabriel. – Lilburn, GA: Fairmont Press, 2008. – 211 с.
5. Standish T. Visions of the Smart Grid: Deconstructing the traditional utility to build the virtual utility / Tom Standish. – Washington DC: U. S. Department of Energy 2008 Smart Grid Implementation Workshop, 2008.
6. Путь к созданию «Интеллектуальных сетей». // Взгляд Accenture. – 2009.
7. Rahman S. Intelligent Distributed Autonomous Power System (IDAPS) / S. Rahman, M. Pipattanasomporn, Y. Teklu. – 2007. – С. 1–8.
8. Multi-Agent System (MAS) for Short-Term Generation Scheduling of a Microgrid / T.Logenthiran, D. Srinivasan, A. M. Khambadkone, H. N. Aung. // IEEE ICSET. – 2010. – С. 1–6.
9. Scalable Multi-Agent System (MAS) for Operation of a Microgrid in Islanded Mode / T.Logenthiran, D. Srinivasan, A. M. Khambadkone, H. N. Aung. // IEEE PEDES. – 2010. – С. 1–6.
10. Koesrindartoto D. An agent-based computational laboratory for testing the

- economic reliability of wholesale power market designs / D. Koesrindartoto, S. Junjie, L. Tesfatsion. // IEEE PES General Meeting. – 2005. – C. 931–936.
11. Optimal Short-Term Generation Scheduling with Multi-Agent System under a Deregulated Power Market / Y.Jing, Z. Jianzhong, H. Bin, L. Rongtao. // IEEE IJCC. – 2005. – C. 61–65.
 12. Logenthiran T. Multi-Agent Coordination for DER in MicroGrid / T. Logenthiran, D. Srinivasan, D. Wong. // IEEE ICSET. – 2008. – C. 77–82.
 13. Dimeas A. Control agents for real microgrids / A. Dimeas, N. Hatziargyriou. // IEEE ISAP. – 2009. – C. 1–5.
 14. Wooldridge M. Multi-Agent Systems. / M. Wooldridge, G. Weiss., 1999.
 15. Dimeas L. Operation of a Multiagent System for Microgrid Control / L. Dimeas, N. D. Hatziargyriou. // IEEE Transactions on Power Systems. – 2005. – C. 1447–1455.
 16. Russell S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
 17. Agent-Based Control of Distributed Infrastructure Resources / L. Phillips, H. Link, R. Smith, L. Welland., 2006.
 18. Oyarzabal J. Agent based Micro Grid Management System / J. Oyarzabal, J. Jimeno, J. Ruela. // IEEE ICFPS. – 2005. – C. 1–6.
 19. Dimeas A. A multi-agent system for microgrids / A. Dimeas, N. D. Hatziargyriou. // IEEE PES General Meeting. – 2004. – №1. – C. 55–58.
 20. Nagata T. A Multi-Agent Approach to Power System Normal State Operations / T. Nagata, H. Nakayama, H. Sasaki. // IEEE PES General Meeting. – 2002. – C. 1582–1586.
 21. Solanki J. M. A Multi-Agent Solution to Distribution Systems Restoration / J. M. Solanki, S. Khushalani, N. N. Schulz. // IEEE Transactions on Power systems. – 2007. – C. 1026–1034.
 22. Kok K. PowerMatcher: multiagent control in the electricity infrastructure /

- K. Kok, C. Warmer, R. Kamphuis. // AAMAS. – 2005. – С. 75–82.
23. Sueyoshi T. Agent-based approach to handle business complexity in U.S. wholesale power trading / T. Sueyoshi, G. R. Tadiparthi. // IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – С. 532–543.
 24. Model based programming of intelligent embedded systems and robotic space explorers / B. C. Williams, M. D. Ingham, S. H. Chung, P. H. Elliott. // Proc. IEEE. – 2003. – С. 212–237.
 25. FIFA Standarts specifications [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: www.fifa.org.
 26. Wittig T. ARCHON—A framework for intelligent co-operations / T. Wittig, N. R. Jennings, E. M. Mandan. // IEE-BCS Journal of Intelligent Systems Engineering. – 1994. – С. 168–179.
 27. Talukdar S. Asynchronous teams: Cooperation schemes for autonomous agents / Talukdar. // Journal of Heuristics. – 1998. – С. 295–321.
 28. KQML as an agent communication language / T. Finin, Y. Labrou, J. Mayfield, J. Bradshaw. – Cambridge, MA: The MIT Press, 1997.
 29. JADE documentation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://jade.tilab.com>.
 30. Bellifemine F. Developing multi agent systems with a FIPA-compliant agent framework / F. Bellifemine, A. Poggi, G. Rimassa. // in Software – Practice & Experience, John Wiley & Sons. – 2001. – С. 103–128.
 31. Berger M. Porting Agents to Small Mobile Devices / M. Berger, S. Rusitschka, D. Toropov. // The Development of the Lightweight Extensible Agent Platform.

ДОДАТОК

Публікації

Інтелектуальне управління енергетичною інфраструктурою microGrid з
застосуванням агентного підходу

УКР.НТУУ"КПІ" _ТЕФ_АПЕПС_ ТІ41144_19М

Аркушів 7

2019

INTERNATIONAL INTERNET CONFERENCE

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

is awarded to

Bereziuk Vadym

for being an active participant in
XXXVII International Scientific and Practical Conference



SCIENTIFIC RESULTS OF 2019

09 December 2019, Vinnytsia, Ukraine

el-conf.com.ua



УДК 004.9

Інформаційні технології

РОЗРОБКА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ MICROGRID

Березюк В.Д.,

студент теплоенергетичного факультету, кафедри АПЕПС

Національний технічний університет України «Київський політехнічний

інститут ім. Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

У США основоположні документи: «Grids 2030 – A National Vision for Electricity's Second 100 years» і «План відновлення інвестицій в американську економіку» були розроблені в 2003 році і передбачають реалізацію програм модернізації та інноваційного розвитку національної електроенергетики на базі комплексного і системного впровадження технологій на основі концепції SmartGrid. Вони мають статус національних і здійснюються за прямої підтримки політичного керівництва країни. Міністерство енергетики США позиціонує SmartGrid як «повністю автоматизовану енергетичну систему, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та інформації між електростанціями» [1, с.101].

Енергетична система на базі концепції SmartGrid дозволяє споживачам, які мають власні генеруючі установки, в години пікових навантажень виступати на ринку в якості продавців енергоресурсів [2].

Терміном microGrid (або мікромережа) називають низьковольтні розподілені електричні мережі, що складаються з різних розподілених генераторів, систем накопичення і управління навантаженням, які можуть працювати як у вигляді автономної системи, або бути підключеними разом до іншої мережі [3]. Мікромережі мають більш високий рівень гнучкості і дозволяють підключати більш широкий діапазон генеруючих джерел енергії, в тому числі ті, інтеграція яких є проблемою для централізованої енергетичної мережі, а саме вітрові та сонячні.

Мультиагентна система (далі MAC) – це мережа розподілених, слабко пов'язаних, інтелектуальних апаратних і програмних сутностей, які взаємодіють один з одним. Взаємодія може бути спроектована таким чином, аби мультиагентна система досягала глобальної мети. Атомарним складовим елементом мультиагентної системи є агент. Агент – це частина програмного або апаратного забезпечення [4], яка знаходиться в середовищі і здатна автономно реагувати на зміни в цьому середовищі. Хоча кожен агент є інтелектуальним, окремого агента недостатньо для досягнення глобальної мети в масштабах складної системи.

В результаті дослідження предметної області та міжнародного досвіду розробки мультиагентних систем управління мікромережами була запропонована архітектура мультиагентної системи за наступною принциповою схемою (рисунок 1).

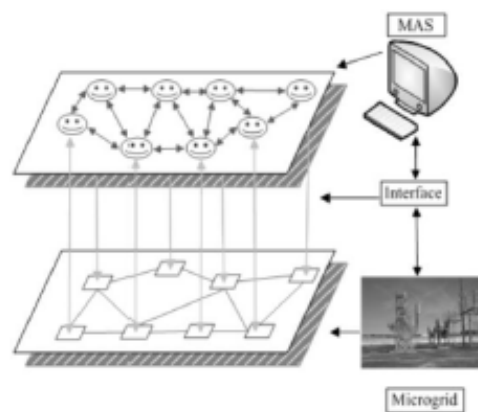


Рисунок 1 – Принципова схема розробленої системи [5, с.43]

Як видно зі схеми, фізичні об'єкти енергоінфраструктури в microGrid мережах поєднані між собою лініями зв'язку. Кожен з цих об'єктів: генератор, або трансформатор, або датчик має свого власного програмного агента, який функціонує в комунікативному середовищі мультиагентної платформи. Фізичний рівень та програмний агент пов'язані між собою інтерфейсом проміжного програмного забезпечення JADE. Автономні програмні агенти формують мультиагентну систему розподіленої енергомережі. Від складності

моделі поведінки кожного з агентів та загальної організації міжагентного спілкування залежить рівень інтелектуальності системи в цілому.

Структура управління мережею має наступний вид, як показано на рисунку 2. На нижньому рівні мікромережі знаходяться локальні мікроконтролери. Вони мають власну автономію, однак не мають значних обчислювальних ресурсів, тому їх поведінка дуже швидка, але не є інтелектуальною.



Рисунок 2 – Ієрархічна структура управління мережею

В кожній мікромережі над системою із локальних мікроконтролерів знаходиться контролер microGrid. Він відповідає за прогнозування попиту та потенційної потужності генерації електроенергії, а також оптимізує роботу мікромережі шляхом оптимальної координації локальних контролерів. Ряд задач, які він виконує вимагають наявності достатньої кількості обчислювальних ресурсів, і тому поведінка цих агентів вже є інтелектуальною. Кожна мікромережа так само розглядається, як автономний об'єкт розподілених енергомереж, тому моделюється як окремий інтелектуальний агент мережі. Оскільки мікромереж в системі може бути декілька, на верхньому рівні знаходиться глобальна система управління розподіленої генерації. На цьому рівні розміщені значні ресурси для обчислень, аналітичні блоки та масиви даних.

Кожен агент має набір правил та інструментів, тісно пов'язаних з його діями та цілями. Хоча агенти відрізняються поведінкою, все одно їй можна обмежити загальними рамками. Кожен агент системи має свої власні комунікативні здібності. Спілкування між агентами здійснюється на рівні знань. База знань кожного агента реалізується за рахунок системи правил, списків термінів та семантики.

Запропонований концепт мультиагентної (рисунок 3) система передбачає наявність наступних типів агентів: агент генератору, агент метеостанції, агент енергоакumuлюючого обладнання, агент підстанції ліній електропередачі, агент управління мікромережею, агент підтримки локального зв'язку, агент диспетчеризації мікромережі, агент диспетчеризації глобального рівня, агент аналізу погодних умов, агент управління енергопопитом, агент прогнозування потенційної потужності генерації, агент автоматичної діагностики та підтримки автономності мікромереж.

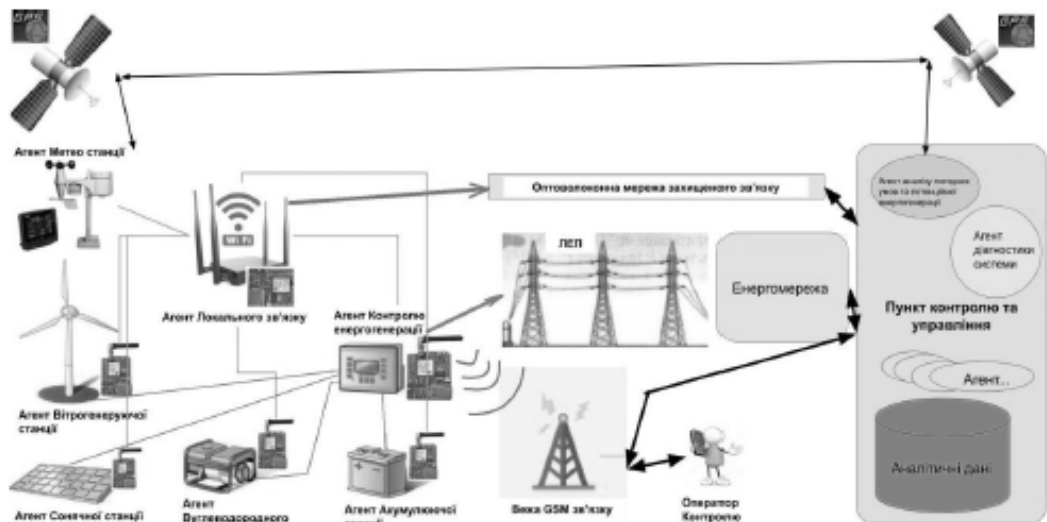


Рисунок 3 – Концептуальна схема мультиагентної системи microGrid

Створення мультиагентної системи MicroGrid підвищить локальну надійність, дозволить зменшити викиди парникових газів в атмосферу, покращить якість постачання електроенергії і потенційно знизить вартість енергопостачання. Зважаючи на ці переваги є доцільним використовувати microGrid для розробки інтелектуальних мереж на рівні розподілу.

Література:

1. "GRID 2030" A national vision for electricity's second 100 years [Електронний ресурс] // United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <https://ferc.gov/eventcalendar/Files/20050608125055-grid-2030.pdf>.
2. Gabriel M. A. Visions for a sustainable energy future.10. – Lilburn, GA: Fairmont Press, 2008. P. 211
3. T. Logenthiran, D. Srinivasan, and D. Wong, "Multi-agent coordination for DER in MicroGrid," IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, pp.77-82, Singapore, 24-27 Nov. 2008.
4. M. Wooldridge, and G. Weiss, Multi-Agent Systems. The MIT Press, 1999.
5. Logenthiran T. Multi-agent system for control and management of distributed power systems : дис. канд. техн. наук / Logenthiran Thillainathan – Сингапур, 2012.